

---

Universidad Carlos III de Madrid  
Escuela Politécnica Superior  
Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos



***Proyecto Fin de Carrera***  
***Ingeniería Técnica Industrial***

**DISEÑO DE CÁMARA  
PARA LA CONGELACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE PAN**

Autor: David Torres Cicuéndez  
Tutora: Raquel Lizarte Mayo

Junio 2014

---



## ***AGRADECIMIENTOS***

Quiero expresar un profundo agradecimiento y mencionar a quienes con su apoyo y comprensión me ayudaron a conseguir llegar al final de esta etapa.

A mis padres quienes les agradezco su cariño y comprensión, y han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mi esposa e hijos por confiar en mí, y en general a toda mi familia por su apoyo y empuje incondicional.

Mis amigos de un valor incalculable, quienes han sabido como motivarme para no abandonar en los momentos difíciles.

A mi tutora Raquel Lizarte, quien me dio la oportunidad y empujón que necesitaba para conseguir los objetivos del presente proyecto.

A los compañeros del sector, quienes me han prestado su ayuda de manera voluntaria para dar forma a este proyecto.

Y a todos aquellos que olvido nombrar.

Muchas gracias a todos.

.



# ÍNDICE

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. DEFINICIONES BÁSICAS**

### **2.2. TIPOLOGÍAS DE CÁMARAS**

### **2.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN**

### **2.4. COMPONENTES CÁMARAS FRIGORÍFICAS**

#### **2.4.1 ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

##### *2.4.1.1. Cerramientos*

##### *2.4.1.2. Aislantes*

##### *2.4.1.3. Barreras antivapor*

##### *2.4.1.4. Revestimientos*

#### **2.4.2 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN**

##### *2.4.2.1. Compresor*

##### *2.4.2.2. Condensador*

##### *2.4.2.3. Evaporador*

##### *2.4.2.4. Válvula de expansión*

##### *2.4.2.5. Acumulador aspiración*

##### *2.4.2.6. Presostato*

##### *2.4.2.7. Recipiente de líquido*

##### *2.4.2.8. Filtro de líquido antihumedad, antiácido*

##### *2.4.2.9. Registrador de temperatura*

##### *2.4.2.10. Válvula equilibrado de presiones*

### **2.5. GASES REFRIGERANTES**

## **3. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA**

### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA NAVE**

#### **3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO A CONGELAR**

#### **3.1.2. COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS**

##### *3.1.2.1. Paredes*

##### *3.1.2.2. Suelos*

##### *3.1.2.3. Techos*

##### *3.1.2.4. Puertas*

### **3.2 CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE**

#### **3.2.1 .CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL TRANSMISION CALOR**

#### **3.2.2. CALCULO TEMPERATURA EXTERIOR**

#### **3.2.3. CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE**

### **3.3 CALCULO CARGA TÉRMICA**

#### **3.3.1 .CARGA TERMICA DEBIDA A PERDIDAS POR TRANSMISIÓN**

#### **3.3.2 .CARGA TERMICA POR RENOVACION AIRE**

#### **3.3.3 .CARGA TERMICA DEBIDA AL PRODUCTO**

#### **3.3.4 .CARGA TERMICA DEBIDO A LA MAQUINARIA**

#### **3.3.5 .CARGA TERMICA APORTADA POR LAS PERSONAS**

#### **3.3.6 .CARGA TERMICA APORTADA POR LA ILUMINACIÓN**

#### **4. CICLO DE REFRIGERACIÓN**

- 4.1. INTRODUCCIÓN
- 4.2. CARACTERÍSTICAS REFRIGERANTES R404A Y R407F
  - 4.2.1. *R404A*
  - 4.2.2. *R407F*
  - 4.2.3. *COMPARATIVA ENTRE R404A Y R407F*
- 4.3. CÁLCULO DEL CICLO: TEMPERATURA EXTERIOR MÁS ALTA Y MÁS BAJA
  - 4.3.1. *R404A*
  - 4.3.2. *R407F*

#### **5. RESULTADOS ANUALES: SIMULACIONES**

- 5.1. PROCESO DE CÁLCULO
- 5.2. SIMULACIÓN DÍA MÁS CALUROSO
- 5.3. SIMULACIÓN DÍA MÁS FRÍO
- 5.4. SIMULACIÓN ANUAL
- 5.5. ELECCIÓN COMPONENTES EQUIPO DE REFRIGERACIÓN
  - 5.5.1. *COMPRESOR*
  - 5.5.2. *EVAPORADOR*
  - 5.5.3. *CONDENSADOR*

#### **6. EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL**

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. POTENCIAL EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID)
- 6.3. POTENCIAL EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII)
- 6.4. POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC)

#### **7. PRESUPUESTO**

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. COSTE DE LOS MATERIALES
  - 7.2.1. *ELEMENTOS CÁMARA DE CONGELADO*
  - 7.2.2. *GRUPO COMPRESOR Y RECIPIENTE DE LÍQUIDO*
  - 7.2.3. *INTERCAMBIADORES*
  - 7.2.4. *APARATOS DE REGULACIÓN Y CONTROL*
  - 7.2.5. *EQUIPOS PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO*
  - 7.2.6. *RESUMEN COSTE DE MATERIAL*
- 7.3. COSTE DE LA MANO DE OBRA
- 7.4. VISADO DEL COLEGIO PROFESIONAL
- 7.5. REDACCIÓN PROYECTO Y GASTOS DE INGENIERÍA
- 7.6. RESUMEN GASTOS TOTALES

#### **8. CONCLUSIONES**

#### **9. NOMENCLATURA**

#### **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **ANEXO I: PLANOS**

#### **ANEXO II: DIAGRAMAS**

#### **ANEXO III: DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA**

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa normativo
- Figura 2.** Componentes cámara frigorífica
- Figura 3.** Aislamiento paneles prefabricados
- Figura 4.** Equipo de refrigeración standard
- Figura 5.** Compresores
- Figura 6.** Esquema frigorífico de un condensador
- Figura 7.** Esquema frigorífico y eléctrico de un evaporador
- Figura 8.** Válvula de expansión
- Figura 9.** Ejemplo presostato
- Figura 10.** Alzado y planta de la nave y cámara objeto proyecto
- Figura 11.** Puerta abrigo retráctil
- Figura 12.** Aislamiento paredes cámara
- Figura 13.** Suelo cámara
- Figura 14.** Techo cámara
- Figura 15.** Puerta antecámara-cámara
- Figura 16.** Orientación paredes cámara congelado
- Figura 17.** Paneles TAVER con sistema InstaClack
- Figura 18.** Ciclo refrigerante con los puntos más significativos
- Figura 19.** Rendimiento indicado para R22 y R12
- Figura 20.** Diagrama p-h para nuestro equipo con R404A
- Figura 21.** Diagrama p-h para nuestro equipo con R407F
- Figura 22.** Ajuste  $h_4$ , R404A a función polinómica
- Figura 23.** Ajuste  $h_1$ , R404A a función polinómica
- Figura 24.** Ajuste Presión R404A a función polinómica
- Figura 25.** Ajuste curva rendimiento isentrópico R404A a función polinómica
- Figura 26.** Temperatura ambiente por hora día más caluroso
- Figura 27.** Potencia evaporador día más caluroso con ambos refrigerantes
- Figura 28.** Potencia compresor día más caluroso con ambos refrigerantes
- Figura 29.** Potencia condensador día más caluroso con ambos refrigerantes
- Figura 30.** COP's con R404A día más caluroso
- Figura 31.** COP's con R407F día más caluroso
- Figura 32.** Temperatura ambiente por hora día más frío
- Figura 33.** Potencia evaporador día más frío con ambos refrigerantes
- Figura 34.** Potencia compresor día más frío con ambos refrigerantes
- Figura 35.** Potencia condensador día más frío con ambos refrigerantes
- Figura 36.** COP's con R404A día más frío
- Figura 37.** COP's con R407F día más frío
- Figura 38.** Evolución anual de la temperatura
- Figura 39.** Demanda total anual
- Figura 40.** Demanda eléctrica diaria compresor para ambos refrigerantes
- Figura 41.** Energía diaria emitida por condensador para ambos refrigerantes
- Figura 42.** Energía diaria emitida por ventiladores para ambos refrigerantes
- Figura 43.** COP's eléctricos diarios para ambos refrigerantes
- Figura 44.** Evolución de la masa total de CO<sub>2</sub> emitido por refrigerante





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i> Materiales aislantes empleados en instalaciones frigoríficas</i>
<b>Tabla 2.</b>	<i> Materiales de barrera antivapor</i>
<b>Tabla 3.</b>	<i> Tipos de evaporadores</i>
<b>Tabla 4.</b>	<i> Propuesta CE reducción gases HFC</i>
<b>Tabla 5.</b>	<i> Comparativa GWP refrigerantes</i>
<b>Tabla 6.</b>	<i> Tasas gases refrigerantes</i>
<b>Tabla 7.</b>	<i> Superficies útiles de la nave</i>
<b>Tabla 8.</b>	<i> Requisitos para almacenamiento y propiedades productos perecederos</i>
<b>Tabla 9.</b>	<i> Propiedades de los materiales empleados en paredes</i>
<b>Tabla 10.</b>	<i> Propiedades de los materiales empleados en suelo</i>
<b>Tabla 11.</b>	<i> Propiedades de los materiales empleados en techo</i>
<b>Tabla 12.</b>	<i> Resistencias térmicas superficiales cerramientos en contacto con aire exterior</i>
<b>Tabla 13.</b>	<i> Resistencias térmicas superficiales cerramientos en contacto con aire interior</i>
<b>Tabla 14.</b>	<i> Coeficientes superficiales transmisión de calor interior y exterior</i>
<b>Tabla 15.</b>	<i> Valores temperatura exterior corregidos en función de la orientación</i>
<b>Tabla 16.</b>	<i> Áreas de cada paramento</i>
<b>Tabla 17.</b>	<i> Cálculo espesor de panel</i>
<b>Tabla 18.</b>	<i> Espesores recomendados según fabricante</i>
<b>Tabla 19.</b>	<i> Espesores elegidos para nuestra cámara</i>
<b>Tabla 20.</b>	<i> Cálculo coeficiente transmisión de calor U</i>
<b>Tabla 21.</b>	<i> Cálculo carga térmica por transmisión de calor por paredes <math>Q_1</math></i>
<b>Tabla 22.</b>	<i> Condiciones ambientales</i>
<b>Tabla 23.</b>	<i> Renovaciones aire por día en función volumen cámara</i>
<b>Tabla 24.</b>	<i> Condiciones del producto</i>
<b>Tabla 25.</b>	<i> Potencia liberada por persona en función temperatura de la cámara</i>
<b>Tabla 26.</b>	<i> Resumen cargas térmicas</i>
<b>Tabla 27.</b>	<i> Propiedades R404A</i>
<b>Tabla 28.</b>	<i> Propiedades R407F</i>
<b>Tabla 29.</b>	<i> Condiciones iniciales ciclo de refrigeración</i>
<b>Tabla 30.</b>	<i> Resumen datos diagrama P-h R404A</i>
<b>Tabla 31.</b>	<i> Resumen entalpías R404A</i>
<b>Tabla 32.</b>	<i> Resumen resultados R404A</i>
<b>Tabla 33.</b>	<i> Resumen datos diagrama P-h R407F</i>
<b>Tabla 34.</b>	<i> Resumen entalpías R407F</i>
<b>Tabla 35.</b>	<i> Resumen resultados R407F</i>
<b>Tabla 36.</b>	<i> Resumen de datos ciclo R404A y R407F</i>
<b>Tabla 37.</b>	<i> Datos relación <math>T_c-h_{4'}</math> del R404A</i>
<b>Tabla 38.</b>	<i> Datos del <math>h_{1'}</math> del R404A</i>
<b>Tabla 39.</b>	<i> Datos p-t del R404A</i>
<b>Tabla 40.</b>	<i> Datos rendimiento isentrópico del R404A</i>

**Tabla 41.** Selección del compresor

**Tabla 42.** Datos técnicos del compresor seleccionado

**Tabla 43.** Datos técnicos del evaporador seleccionado

**Tabla 44.** Datos técnicos del condensador seleccionado

**Tabla 45.** PEID anual para cada refrigerante

**Tabla 46.** Valor de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas debido al consumo de electricidad

**Tabla 47.** PEII anual y diario de cada refrigerante

**Tabla 48.** PTC anual para cada refrigerante

**Tabla 49.** Precios elementos cámara de congelado

**Tabla 50.** Precios compresor y recipiente de líquido

**Tabla 51.** Precios intercambiadores

**Tabla 52.** Precios aparatos regulación y control

**Tabla 53.** Precios equipos protección contra incendio

**Tabla 54.** Resumen precios materiales

**Tabla 55.** Precios mano de obra

**Tabla 56.** Precios redacción proyecto e ingeniería

**Tabla 57.** Resumen costes totales

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

---



## **1.1.- INTRODUCCIÓN**

El objeto del presente Proyecto es la elección del sistema de enfriamiento de una cámara de congelación, en función de la carga térmica máxima. Se utilizarán dos refrigerantes distintos y se realizará un estudio comparativo de eficiencia, ambiental y económico. La cámara se destina a la recepción, almacenamiento y congelación de pan para su posterior distribución a una cadena de supermercados, de modo que se garantice un correcto funcionamiento, así como el buen estado del producto.

En el “**Capítulo 2: Estado del Arte**”, se comenzará por introducir, los conceptos básicos que permitan familiarizarse con cada uno de los aspectos a desarrollar a lo largo del Proyecto: definiciones, tipo de cámara, dimensiones, componentes, refrigerantes, etc.

En el “**Capítulo 3: Carga térmica**”, se describirá la cámara objeto de estudio, se realizará el cálculo de espesor del aislante así como el cálculo de cargas térmicas para el día más caluroso.

En el “**Capítulo 4: Ciclo frigorífico**” se realizará una descripción del ciclo termodinámico de refrigeración y se calcularán (para dos refrigerantes R404A y R407F) los parámetros característicos del sistema para el día más caluroso y el más frío: flujo de refrigerante, potencias, energías, eficiencia.

En el “**Capítulo 5: Simulaciones**”. Mediante el programa de cálculo Matlab, se realizarán las simulaciones del ciclo (para los refrigerantes indicados) para todo un año. De este programa se obtienen resultados de COPs medios anuales, energías y emisiones de CO<sub>2</sub>, que utilizaremos para realizar la selección de componentes de nuestro sistema de refrigeración.

En el “**Capítulo 6: Evaluación Impacto Ambiental**”. A partir de los resultados del ciclo de simulación y teniendo en cuenta las fugas de refrigerante, se compara el efecto ambiental del sistema de enfriamiento trabajando con cada uno de los refrigerantes.

En el “**Capítulo 7: Presupuesto**” se valorarán los costes de los materiales y elementos empleados para nuestro sistema de refrigeración, con su respectiva instalación.

Por último en el “**Capítulo 8: Conclusiones**” se resumen los resultados obtenidos en cada uno de los capítulos anteriores.

Los anexos del proyecto incorporarán información acerca de los refrigerantes empleados, además de los planos detallados de la cámara en estudio.



## CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE

---





## **2.1.- DEFINICIONES BÁSICAS**

El R.D. 168/1985, de 6 de febrero en su artículo 3 de la Reglamentación técnico-sanitaria sobre las condiciones generales de almacenamiento frigorífico de alimentos y productos alimentarios establece las siguientes definiciones básicas:

- Alimento congelado.-Es aquel en que la mayor parte de su agua de constitución (agua libre) se ha transformado en hielo, al ser sometido a un proceso de congelación y especialmente concebido para preservar su integridad y calidad y para reducir, en todo lo posible, las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, tanto durante la fase de congelación como en la conservación ulterior.

- Alimento congelado rápidamente.-Cuando se utiliza el término «alimento congelado rápidamente» (sinónimo: «ultracongelado») significa:

- Que la congelación se efectúa de forma que el intervalo de máxima cristalización (1° a 5 °C) transcurra rápidamente.

- Que la temperatura de equilibrio alcanza -18 °C o una temperatura inferior a aquella a la que se pretende conservar el producto.

- Que la temperatura del producto se mantiene a -18 °C o a una temperatura inferior en el curso de su almacenamiento, transporte y distribución, con el mínimo de variación o fluctuación que se indique en su reglamentación específica.

- Alimento conservado por el frío.-Es aquel que, previamente refrigerado o congelado, ha sido envasado, en su caso, y sometido a un almacenamiento frigorífico en las condiciones adecuadas.

- Alimento refrigerado.-Se entiende por tal aquel que ha sido enfriado hasta la temperatura óptima de almacenamiento, de forma que todos sus puntos aquella sea superior a la de su punto de congelación.

- Almacén frigorífico («Frigorífico»).-Es un establecimiento industrial integrado por locales, instalaciones y equipos dedicados de forma permanente o circunstancial al almacenamiento frigorífico de alimentos, pudiendo constituir por sí mismo una industria frigorífica autónoma, ser anejo de otro establecimiento principal o disponer los anejos de su actividad.

Cuando en el almacén frigorífico existen equipos para la congelación o para la manipulación de alimentos, dichos equipos serán considerados como anejos de la industria frigorífica principal.

Según «el uso», los almacenes frigoríficos se pueden clasificar en:

- a) Almacenes frigoríficos de uso público:* Son aquellos que funcionan como prestatarios de servicios, para asegurar el almacenamiento frigorífico adecuado de productos alimenticios por cuenta de terceros.

- b) Almacenes frigoríficos de uso privado:* Son los que se utilizan para asegurar el almacenamiento frigorífico adecuado de los productos alimenticios que son propiedad de su Empresa.

- c) Almacén frigorífico de uso mixto:* Son los que funcionan combinando los dos usos anteriormente indicados, previo cumplimiento de las correspondientes disposiciones legales vigentes (fiscal, administrativa, etc.).

- Almacenamiento frigorífico.-Se entiende por almacenamiento frigorífico de alimentos, su permanencia en cámaras frigoríficas en las condiciones (temperatura, humedad relativa, circulación de aire y, eventualmente, composición de la mezcla de gases ambiente) más adecuadas al mantenimiento durante el mayor tiempo posible de las características de aquellos en el momento de ser introducidos en las mismas.

○ Anejo.-Se aplica el término «anejo» a los establecimientos o equipos no autónomos, dependientes técnica, funcional y especialmente de otras industrias o establecimientos.

○ Antecámara.- Las Antecámaras Frigoríficas cumplen funciones de recintos de tránsito, ya sea de recepción de producto, despacho, o ambas. Pueden atender mercadería fresca o congelada, y generalmente son requeridas para mantener una temperatura ambiente entre 0°C y +10°C. , de esta manera se evita que durante el proceso de carga y descarga de productos las cámaras se encuentren expuestas a las altas temperaturas ambientales externas. Además su superficie es utilizada de área de acopio durante el proceso de tránsito.

○ Cámara de almacenamiento frigorífico en atmósfera controlada.-Son cámaras frigoríficas para productos refrigerados, suficientemente estancas a los gases, provistas de dispositivos para equilibrar su presión con la exterior y para regular y mantener la mezcla gaseosa que se desee en su interior (especialmente, los contenidos de oxígeno y de anhídrido carbónico).

○ Cámara frigorífica.-Es todo local aislado térmicamente, en cuyo interior pueden mantenerse razonablemente constantes la temperatura y la humedad relativa requeridas mediante la acción de una instalación frigorífica.

○ Cámara frigorífica para productos congelados.-Cámara frigorífica concebida para recibir y almacenar alimentos y productos alimentarios previamente congelados.

○ Cámaras frigoríficas para productos refrigerados - Cámara frigorífica concebida para recibir y almacenar alimentos y productos alimentarios previamente refrigerados.

○ Cámara frigorífica bitémpera.-Cámara frigorífica concebida para recibir y almacenar, alternativamente, alimentos y productos alimentarios previamente refrigerados o congelados.

○ Cámara frigorífica mixta.-Se denominan mixtas (enfriamiento y conservación refrigerada) aquellas con suficiente capacidad frigorífica instalada para poder enfriar en un plazo máximo de veinticuatro horas los productos introducidos en las mismas a temperatura ambiente, manteniéndolos luego a la temperatura de almacenamiento refrigerado adecuada.

Por tanto, una vez realizadas las definiciones pertinentes, indicar que nuestro Proyecto estará formado por una ***Antecámara (T=5°C) + Cámara frigorífica mixta***. El producto (Pan) llegará a 5°C y se congelará hasta -18°C. .

La elección del sistema de enfriamiento, cálculo de cargas térmicas y ciclos de refrigeración se centrará exclusivamente en la *Cámara de Congelado*.

## 2.2.- TIPOLOGÍAS DE CÁMARA

La tipologías de cámara suelen clasificarse en función de dos factores: la temperatura de almacenamiento y el área de aplicación.

En función de la temperatura de almacenamiento, nos encontramos con cámaras de:

- Refrigeración ( $T > 0^{\circ}\text{C}$ )
- Congelación ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ )

En función del área de aplicación dependerá del uso al que este destinado, siendo de ámbitos tan diversos como la farmacéutica, la floristería, la ingeniería, la investigación científica y hasta en la informática.

Es por ello que en nuestro caso, nos centraremos sólo en las Cámaras de Congelación para conservación y mantenimiento de alimentos.

## 2.3.- NORMATIVA DE APLICACIÓN

La *Figura 1* nos resume la normativa actual aplicable en materia de instalaciones frigoríficas y productos alimenticios lo cual engloba las partes fundamentales de nuestro proyecto.

### Disposiciones reglamentarias del sector ALIMENTARIO

#### De obligado cumplimiento

##### Reglamento 852/2004

**DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**  
De 29 abril de 2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios.

*Diario Oficial de la Unión Europea, L226/3 25.6.2004.*

##### Reglamento 37/2005

#### DE LA COMISIÓN

De 12 de enero de 2005 relativo al control de las temperaturas en los medios de transporte y los locales de depósito y almacenamiento de alimentos ultra congelados destinados al consumo humano.

*Diario Oficial de la Unión Europea, L10/18 13.1.2005.*

#### Disposiciones nacionales

##### R.D. 1109/1991

De 12 de julio, por el que se aprueba la norma general relativa a los alimentos ultracongelados destinados a la alimentación humana.

*BOE 1701 / 17 Jul 1991.*

##### R.D. 618/1998

Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de helados y mezclas envasadas para congelar.

*BOE 101 / 8 Abr 1998.*

##### R.D. 1376/2003

De 7 de noviembre, por el que se establecen las condiciones sanitarias de producción, almacenamiento y comercialización de las carnes frescas y sus derivados en los establecimientos de comercio al por menor.

*BOE 273 / Viernes 14 Nov. 2003 40094.*

#### De carácter voluntario

##### Normas de calidad

IFS	UNE 15500
ISO 22000	BRC
ISO 9001	y otras

### Disposiciones reglamentarias sobre instalaciones frigoríficas

#### De obligado cumplimiento

##### R.D. 138/2011

De 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.

*BOE 57 / Martes 8 Mar 2011*

### Disposiciones de CONTROL METROLÓGICO sobre los instrumentos de medida

#### De obligado cumplimiento

##### Ley 3/1985

De 18 de marzo, de Metrología

*BOE 67 / Martes 19 Mar 1985 7168.*

##### R.D. 889/2006

De 21 de julio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida.

*BOE 183 / Miércoles 2 Ago 2006.*

##### R.D. 339/2010

De 19 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 889/2006, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida, para adecuarlo a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

*BOE 841 / Miércoles 7 Abril 2010.*



*Figura 1. Mapa normativo*



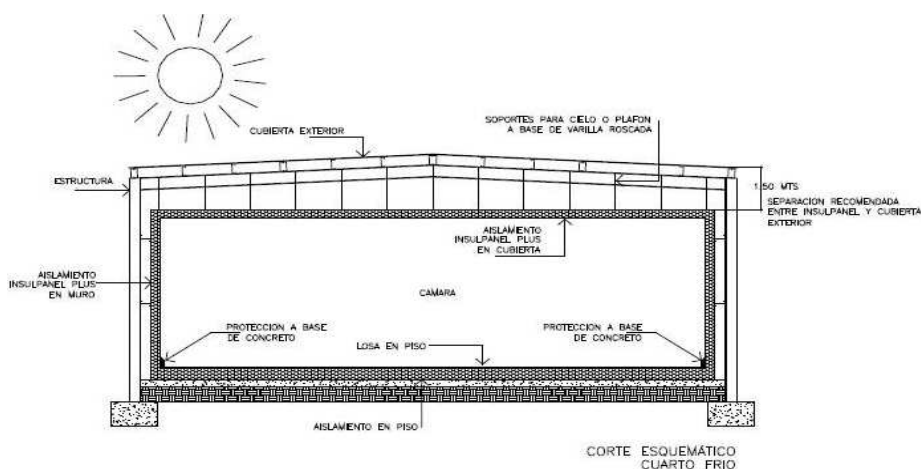
- Facilitar el mantenimiento de la temperatura adecuada en el interior del recinto, ajustando las pérdidas de calor a unos valores prefijados por unidad de superficie o de longitud y evitar condensaciones
- Obtener un ahorro energético con un espesor económico óptimo.

Dada la gran cantidad de aislantes existentes, exponemos en la *Tabla 1* una descripción de los más utilizados en las instalaciones frigoríficas:

Aislante	Estructura	Peso específico Aprox. (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (Kcal/h m °C)	Resistividad al v. de H <sub>2</sub> O (mm Hg m <sup>2</sup> día /g cm).	Máx.temp. (°C)
Poliestireno expandido	Celular	10-25	0'049-0'028	0'12-0'22	70
Poliestireno extrusionado	Celular	33	0'024-0'028	0'45-0'90	85
Poliuretano	Celular	32-80	0'020-0'034	0'066-0'166	140
Espuma elastomérica	Celular	60	0'029	41'6	-40 a +105
Coquillas de lana de roca	Fibrosa	110-180	0'036	0'008 - 0'0009	500
Cubretuberías	Fibrosa	110-315	0'038	0'037	120

**Tabla 1.** Materiales aislantes empleados en instalaciones frigoríficas

En la actualidad los paneles prefabricados constituyen con diferencia, el material prefabricado más utilizado para la construcción de cámaras frigoríficas, utilizándose como material aislante el poliestireno expandido y con mucha mayor frecuencia la espuma de poliuretano.



**Figura 3.** Aislamiento paneles prefabricados

Entre las cualidades más importantes exigibles a un buen aislante, se encuentran:

- Baja conductividad térmica.
- Muy poco higroscópico
- Imputrescible
- Incombustible
- Neutro químicamente frente a otros materiales y fluidos en contacto
- Plástico, adaptándose a las deformaciones.
- Facilidad de colocación
- Resistencia a la compresión y a la tracción.

2.4.1.3. Barreras anti-vapor

Son necesarias para:

- Mantener el valor de la conductividad térmica del aislante
- Evitar deterioros en el aislante y en los paramentos verticales y horizontales.
- Reducir el consumo energético.
- Alargar la vida útil tanto de cerramientos y materiales aislantes como de la maquinaria frigorífica.

Deben cumplir:

- Estar situadas en la cara caliente del aislamiento.
- No dejar discontinuidades en ningún punto del perímetro aislado.
- Estar constituidas por materiales muy impermeables al vapor de agua. El uso de cada material se recomienda para algunas aplicaciones, desaconsejándose para otras.

Material de barrera	Tipo de cámara
Emulsión bituminosa en frío	Refrigeración
Láminas asfálticas con o sin aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Refrigeración</li> <li>○ Congelación</li> <li>○ Conservación de congelados</li> </ul>
Láminas de polietileno	
Chapa metálica	

**Tabla 2.** *Materiales de barreras antivapor*

2.4.1.4. Revestimientos

Se hacen necesarios por varias razones:

- Razones mecánicas. Las protecciones evitan la rotura accidental del material aislante.
- Son una protección contra la penetración del agua, acción de un posible fuego y evitan el crecimiento de microorganismos en el aislante.
- Presentan superficies lisas que facilitan su limpieza y permiten cumplir con las reglamentaciones técnico-sanitarias.



## 2.4.2. Equipo de refrigeración

Dentro de este punto, se describirá los elementos principales del circuito frigorífico. Un equipo de refrigeración es una máquina térmica cuyo objetivo consiste en extraer calor de un foco a baja temperatura para transferirlo a otro foco a temperatura más elevada. Para lograrlo es necesario un aporte de trabajo puesto que el calor se dirige de forma espontánea de un foco caliente a uno frío, y no al revés, por la segunda ley de la termodinámica. El aporte de energía para el funcionamiento de la máquina se realizará mediante la compresión mecánica de un gas refrigerante, el cual será el encargado de transferir el calor desde un foco térmico al otro. La compresión mecánica se produce accionando el compresor mediante un motor de tipo eléctrico.

Los cuatro principales componentes de un equipo de refrigeración son el compresor mecánico, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador, además de otros dispositivos de seguridad y control. Por su parte el fluido frigorífico que circula por el sistema refrigerante, absorberá la energía cedida por el compresor, y esto hará que lo impulse a través del circuito.



**Figura 4.** Equipo de refrigeración standard

### 2.4.2.1. Compresores

El compresor es el elemento activo del circuito de refrigeración. Cumple dos funciones: reducir la presión en el evaporador hasta que el líquido refrigerante evapora a la temperatura fijada, y mantiene esta presión retirando los vapores y elevando la temperatura del medio condensado. Por lo tanto, el trabajo del compresor consiste en aspirar los vapores del fluido refrigerante, comprimirlos y descargarlos en el condensador. Los tipos de compresores más utilizados en refrigeración son:

- |                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| a) Alternativos | c) De tornillo o helicoidales |
| b) Rotativos    | d) Centrífugos                |



*Figura 5. Compresores*

Los tres primeros son de desplazamiento positivo, es decir, en ellos el fluido refrigerante es sometido a una verdadera compresión mecánica a través de elementos que realizan una compresión realizando una reducción volumétrica.

Todos los compresores de este tipo, para aumentar la presión del gas, admiten una determinada cantidad de éste en un volumen determinado y a continuación reducen el volumen de la cámara. La disminución del volumen de gas, hace que la presión de éste aumente. Los compresores centrífugos son de desplazamiento cinético, ya que realizan la compresión mediante la fuerza centrífuga que se ejerce sobre el fluido refrigerante por la rotación de un rodillo que gira a gran velocidad. Los compresores más utilizados en el campo de la refrigeración son los alternativos y los de tornillo. Los demás tipos de compresores quedan fuera de nuestras opciones para este proyecto, debido a su escasa aplicación.

La capacidad de refrigeración y la potencia del compresor son dos de las características más importantes de funcionamiento. Estas dos características de un compresor que funcionan a una velocidad constante, están controladas principalmente por las presiones de admisión y de descarga. Las pérdidas de potencia en el compresor, son consecuencia de los siguientes factores:

- Expansión de vapor en el espacio muerto.
- Pérdidas por intercambio de calor del vapor con las paredes del cilindro.
- Pérdidas debido al flujo de vapor a través de válvulas.

La suma de estas pérdidas descritas, son la diferencia entre el consumo real y el teórico. Los factores directos que influyen en la capacidad y potencia del compresor, son los siguientes:

- Velocidad del compresor: la capacidad de un compresor es incrementada en aumentar su velocidad de giro, pero en un grado inferior a la potencia requerida.
- Presión de aspiración: la capacidad de un compresor se ve reducida a medida que disminuye la presión de aspiración.
- Presión de descarga: el efecto de refrigeración disminuye por un aumento de la presión de condensación.
- Fugas a través de las válvulas o pistones.



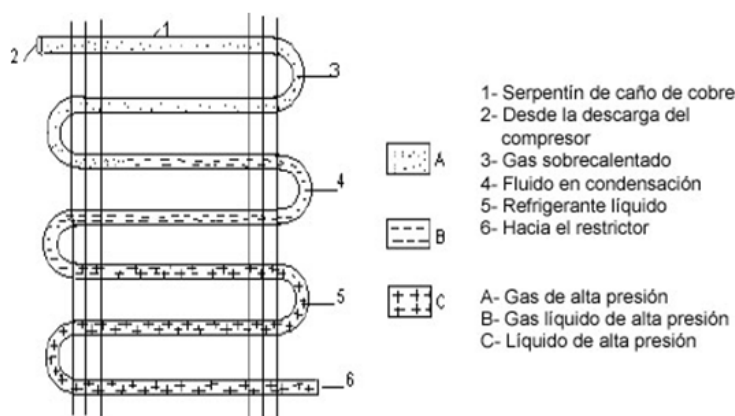
#### 2.4.2.2. Condensadores

Es un intercambiador de calor en el que se produce la condensación del refrigerante en estado vapor a la salida del compresor. El condensador debe de ser capaz de extraer y disipar el calor absorbido en el evaporador más el calor equivalente al trabajo de compresión.

La liberación de este calor pasa por tres fases. La primera consiste en el enfriamiento de los gases desde la temperatura de descarga del compresor, hasta la temperatura de condensación. Esta fase es muy rápida, debido a la gran diferencia de temperaturas entre el fluido frigorífico y el propio condensador. Actúa generalmente en la primera cuarta parte del condensador.

La segunda fase consiste en la cesión del calor latente de condensación. Es la etapa más lenta y más importante, es donde el fluido efectúa su cambio de estado.

La última fase es el enfriamiento del líquido desde la temperatura de condensación hasta la temperatura deseada (líquido subenfriado). Este enfriamiento se produce en la última cuarta parte del condensador. La temperatura final del líquido dependerá del salto térmico existente.



**Figura 6.** Esquema frigorífico de un condensador

Los diferentes tipos de condensadores más comunes, se clasifican según su forma de disipar el calor y del fluido exterior utilizado.

- Condensadores refrigerados por aire.
- Condensadores refrigerados por agua.

#### 2.4.2.3. Evaporadores

Un evaporador es un intercambiador de calor que tiene la capacidad necesaria para conseguir la temperatura deseada en el recinto a enfriar. La misión principal del evaporador es asegurar la transmisión de calor desde el medio que se enfría hasta el fluido frigorígeno. El refrigerante líquido, para evaporarse, necesita absorber calor y, por lo tanto, produce frío.

En la instalación frigorífica el evaporador esta situado entre la válvula de expansión y la aspiración del compresor. Su diseño y cálculo en una instalación frigorífica presenta dificultades como la elección del tipo, emplazamiento o disminución del coeficiente de transferencia de calor debido a la aparición de hielo.

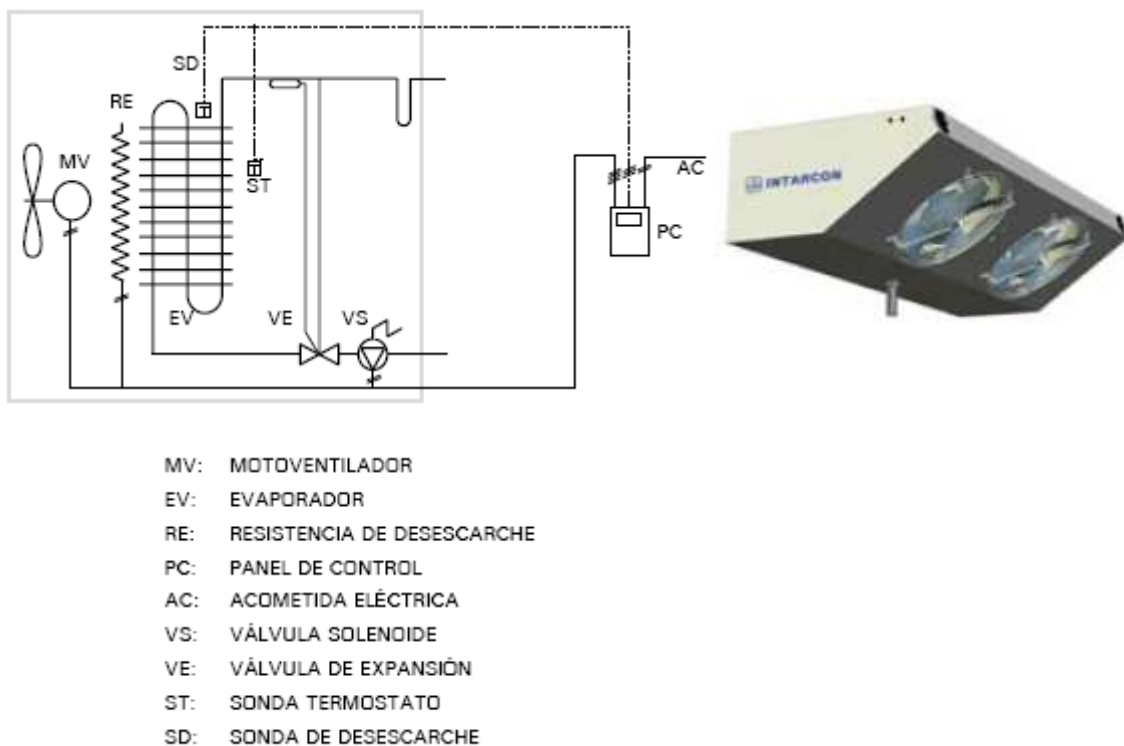
Son varios los tipos de evaporadores existentes en el mercado, los cuales se reflejan en la siguiente Tabla 3:

Clasificación.	Tipo.
Según el método de alimentación del líquido.	Inundado.
	Semi inundado.
	Dry-ex o seco
Según su construcción.	De tubos lisos.
	De placas.
	De tubos con aletas.
Según la circulación del aire.	Convección natural.
	Convección forzada.
Según el sistema de desescarche	Por aire
	Por agua
	Por resistencias eléctricas.
	Por gas caliente.

**Tabla 3.** Tipos de evaporadores

Las características principales que debe satisfacer un evaporador son:

- Gran superficie del evaporador en contacto con el refrigerante.
- El vapor debe salir saturado seco hacia el compresor.
- Mínima pérdida de carga pero con una velocidad suficiente para originar una buena transferencia de calor.
- Deben presentar estanqueidad.
- De construcción sencilla y precio bajo.
- Resistentes a la corrosión.
- Fácil limpieza y desescarche.



**Figura 7.** Esquema frigorífico y eléctrico de un evaporador

El proceso de eliminación de hielo de un evaporador es lo que en términos frigoríficos se conoce como desescarche. En el interior del evaporador se encuentra refrigerante, y en el exterior pasando a través de los tubos y aletas se encuentra el aire con su correspondiente contenido de humedad. Como en el interior del evaporador la temperatura suele ser menor a la de rocío del agua (punto en el cual el agua comienza a condensar), el agua condensa en el evaporador. Si además la temperatura en el interior es inferior a cero grados, el agua condensada se congela formando escarcha, nieve o hielo. Cuando comienza el proceso de formación de hielo, lo primero que se produce es escarcha en la superficie de los tubos y aletas. La escarcha está formada por una multitud de cristales que incrementan de forma sustancial la superficie de intercambio de calor, y en un principio mejoran la transmisión de calor. Posteriormente, según aumenta el volumen de escarcha acumulado, disminuye drásticamente la velocidad del aire a través de las aletas perdiéndose potencia frigorífica.

Cuando esto sucede, esta escarcha o nieve se debe fundir con el aire de circulación parando la inyección, y cuando ya está fundida, volver a inyectar para congelar rápidamente el agua líquida formando un hielo denso y buen transmisor del calor. Cuando la temperatura de evaporación es bastante inferior a cero grados, el proceso de formación de escarcha y nieve casi no se manifiesta y se produce directamente hielo denso. Lo anterior afecta al funcionamiento del evaporador disminuyendo la transmisión de calor del exterior del evaporador al interior. Además el proceso de formación de hielo es acumulativo, lo cual hace que si no se evita, con el tiempo el evaporador se bloquee de hielo. En consecuencia se deduce que es necesario eliminar el hielo del evaporador de forma periódica.

Es importante no olvidar que el evaporador tiene una bandeja en la parte inferior para recoger el agua condensada, la cual debe salir a los desagües de agua. Se debe evitar que las tuberías de agua de salida de las bandejas y el agua retenida en las mismas pueda congelarse. Para eliminar el hielo que se forma en los evaporadores, hay que realizar un aporte de calor que permita la fusión del hielo. Dicho aporte de calor puede darse tanto desde dentro del evaporador como desde fuera de él.

Con aporte externo de calor:

- Desescarches por aire
- Desescarches por agua.

Con aporte interno de calor:

- Desescarche eléctrico
- Inteligente
- Desescarche por gas caliente
- Gas de descarga
- Gas del recipiente de líquido
- Desescarche por líquido caliente

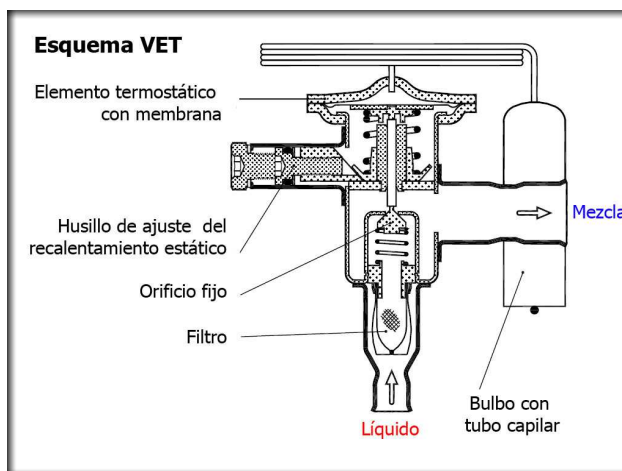
#### 2.4.2.4. *Válvula de expansión*

Una válvula de expansión termostática es un dispositivo de expansión el cual es un componente clave en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, que tiene la capacidad de generar la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema. Básicamente su misión, en los equipos de expansión directa (o seca), se restringe a dos funciones: la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este. Para realizar este cometido dispone de un bulbo sensor de temperatura que se encarga de cerrar o abrir la válvula para así disminuir o aumentar el ingreso de refrigerante y su consecuente evaporación dentro del evaporador, lo que implica una mayor o menor temperatura ambiente, respectivamente.

Este dispositivo permite mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración ya que regula el flujo másico del refrigerante en función de la carga térmica. El refrigerante que ingresa al evaporador de expansión directa lo hace en estado de mezcla líquido/vapor, ya que al salir de la válvula se produce una brusca caída de presión producida por la "expansión directa" del líquido refrigerante, lo que provoca un parcial cambio de estado del fluido a la entrada del evaporador. A este fenómeno producido en válvulas se le conoce como flash-gas.

Se compone de:

- Un cuerpo compuesto por una cámara en la cual se produce la expansión, al pasar el fluido refrigerante a ésta a través de un orificio cilindro-cónico obturado parcialmente por un vástago, y los tubos de entrada y salida del fluido.
- Un elemento o fluido potencia que actúa sobre el vástago para abrir o cerrar el paso de refrigerante a la cámara de expansión.
- Un husillo regulador o tornillo que nos limita la cantidad mínima de caudal.
- Un bulbo sensor situado a la salida del evaporador, conectado por un capilar al elemento de potencia y que actúa sobre éste.
- Una tubería de compensación de presión conectada también a la salida del evaporador, y que ayuda a funcionar al obturador. Este accesorio es necesario sólo para la VET compensada externamente.



**Figura 8.** *Válvula de expansión*

Las principales ventajas que presenta una válvula de expansión:

- Son especialmente adecuadas para inyección de líquido en evaporadores "secos", en los cuales el recalentamiento a la salida del evaporador es proporcional a la carga de éste.
- Regulan activamente la expansión al ser activadas por el sobrecalentamiento. La inyección se controla en función del sobrecalentamiento del refrigerante.
- El sobrecalentamiento constante en la línea de gas evita la posibilidad de ingreso de refrigerante en estado líquido a la succión del compresor.

#### 2.4.2.5. Acumulador de aspiración:

Es un recipiente capaz de retener el exceso de líquido en el fondo, asegurando que el refrigerante que sale lo haga en forma de gas. El tubo de entrada está diseñado de modo que el líquido bañe las paredes tomando todo el calor posible de ellas, para favorecer la evaporación. Además, un buen acumulador de aspiración tiene que asegurar el retorno del aceite al compresor, ya que en la evaporación tienden a separarse, permitiendo que el gas de aspiración arrastre el aceite en la proporción adecuada, pero impidiendo el retorno de suciedad y partículas que dañarían los cilindros.

El tubo de salida aspira sólo gas de la parte superior y dispone de un orificio dosificador de recuperación del aceite en la proporción debida.

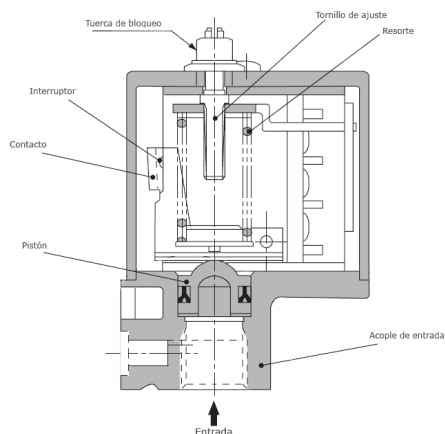
#### 2.4.2.6. Presostatos:

El presostato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte, empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión); mientras estos últimos entregan una señal variable en base al rango de presión, los presostatos entregan una señal apagado/encendido únicamente.



**Figura 9. Ejemplo presostato**

Los tipos de presostatos varían dependiendo del rango de presión al que pueden ser ajustados, temperatura de trabajo y el tipo de fluido que pueden medir. Puede haber varios tipos de presostatos:

- Presostato diferencial: Funciona según un rango de presiones, alta-baja, normalmente ajustable, que hace abrir o cerrar un circuito eléctrico que forma parte del circuito de mando de un elemento de accionamiento eléctrico, comúnmente motores.
- Alta diferencial: Cuando se supera la presión estipulada para el compresor, el rearme puede ser manual o automático.
- Baja diferencial: Cuando la presión baja más de lo estipulado para el compresor, el rearme puede ser manual o automático.

#### 2.4.2.7. Recipiente de líquido

Esta situado justo a la salida del condensador para recibir el líquido resultante de la condensación del refrigerante. Su función sería la de almacenar dicho líquido en función de las necesidades del compresor. De esta manera podemos evitar que reciba golpes de líquido y pueda gripar.

De la misma manera, dejará pasar el líquido que sea preciso cuando el equipo tenga un mayor trabajo y demande una mayor cantidad de refrigerante. También puede ser de utilidad a la hora de vaciar la instalación de refrigerante, puesto que podemos almacenarlo aquí y mantenerlo hasta su nueva utilización.

#### 2.4.2.8. Filtro de líquido antihumedad, antiácido

Para asegurar un funcionamiento óptimo, el interior del sistema de refrigeración deberá estar limpio y seco. Antes de poner en marcha el sistema, deberá eliminarse la humedad por vacío a una presión absoluta de 0.05 mbar. Durante el funcionamiento, es preciso recoger y eliminar suciedad y humedad. Para ello se utiliza un filtro secador que contiene un núcleo sólido formado por:

- Molecular sieves (támiz molecular)
- Gel de sílice
- Alúmina activada y una malla de poliéster insertada en la salida del filtro.

El núcleo sólido es comparable a una esponja, capaz de absorber agua y retenerla. El tímiz molecular y el gel de sílice retienen el agua, mientras que la alúmina activada retiene el agua y los ácidos. El núcleo sólido, junto con la malla de poliéster, actúa asimismo como filtro contra la suciedad. El núcleo sólido retiene las partículas de suciedad grandes, mientras que la malla de poliéster atrapa las partículas pequeñas. El filtro secador es, por lo tanto, capaz de interceptar todas las partículas de suciedad de un tamaño superior a 25 micras.

#### 2.4.2.9. Registrador de temperatura

Dispositivo que realiza medidas de la temperatura en el tiempo e intervalos determinados y permite obtener tablas o gráficos que reflejan la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo.

Los Registradores de Temperatura, empleados en el transporte, almacenamiento, distribución para el control de productos a temperatura controlada, están sometidos al campo de la Metrología Legal a través de la Orden ITC/3701/2006 en vigor desde el 7/12/06, donde se establece la verificación periódica y después de reparación de éstos con una Periodicidad Bianual. Esta Orden desarrolla la aplicación del R.D. 889/06 en el que se impone la prohibición de utilizar estos equipos sin superar el control metrológico.

#### 2.4.2.10. Válvula equilibrado de presiones

Válvula destinada a equilibrar presiones mediante un paso de aire, a través de la misma, entre el interior y exterior de una cámara frigorífica. Estas diferencias de presión, que corregimos mediante esta válvula, se producen normalmente por las siguientes causas a modo de ejemplo:

- Puesta en marcha de los elementos de desescarche en los evaporadores.
- Por una fuerte entrada de mercancía en el seno de la cámara.
- Por una prolongada apertura de las puertas.
- Por cambios de presiones atmosféricas exteriores ajenas a la cámara y que provocan también los mismos inconvenientes.

## **2.5.- GASES REFRIGERANTES**

El fluido térmico que circula en el sistema cerrado de refrigeración, es un gas refrigerante, que absorbe o cede calor en las diferentes etapas y equipos por donde va circulando y transformándose. Entonces un gas portador refrigerante no es más que una sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediendo calor a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperatura.

Un buen refrigerante debe cumplir múltiples cualidades, que por desgracia no todas pueden ser satisfechas a la vez. Hasta hoy no se ha logrado un refrigerante "ideal". Se hace evidente que en la medida que la naturaleza del refrigerante sea tal que las P- T de condensación se aproximen a las del ambiente, necesitaremos menos energía para comprimirlo y para enfriarlo, y con ello el indicador de consumo por unidad frigorífica también será menor. A la vez, si coincidiera que su diferencia en calor latente (respecto al ambiente) fuese lo suficientemente alto para realizar la transferencia de calor, requeriríamos menos cantidad de refrigerante para ejecutar el trabajo y con ello menos compresión. Ambas cualidades son primordiales en el consumo de energía. Se suman otras propias de la naturaleza química del refrigerante, las que proporcionarán poder realizar el trabajo de refrigeración con mayor o menor eficiencia. Ordenado las cualidades que debe cumplir un buen refrigerante, tenemos las siguientes:

- 1) No debe degradar la atmósfera al escaparse. Debe ser inerte sobre la reducción de la capa de ozono y no incrementar el potencial efecto invernadero.
- 2) Ser químicamente inerte, no inflamable, no explosivo, tanto en su estado puro como en las mezclas.
- 3) Inerte a los materiales con los que se pone en contacto, tuberías, sellos, juntas, ...
- 4) No reaccionar desfavorablemente con los aceites lubricantes y presentar una satisfactoria solubilidad en él.



- 5) No intoxicar el ambiente por escapes y ser nocivo a la salud de las personas.
- 6) La relación P1/P2 debe cumplir con la eficiencia del consumo energético.
- 7) Poseer un elevado coeficiente de transferencia de calor por conducción.
- 8) Cumplirse que la relación presión - temperatura en el evaporador sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de humedad o aire al sistema.
- 9) Que su punto de congelación sea menor que la menor temperatura de trabajo de sistema de refrigeración
- 10) Fácil detección en fugas.
- 11) Bajo precio y fácil disponibilidad.

Un propósito que se persigue y aún no se cuenta con su solución, es contar con un aceite lubricante que funcione con todos los tipos de refrigerantes orgánicos e inorgánicos. Podemos clasificar los refrigerantes en dos grupos.

- Los inorgánicos (amoníaco, CO<sub>2</sub>, agua...).
- Los orgánicos (hidrocarburos y halocarbonatados).

Dentro de los orgánicos podemos distinguir entre:

a) CFC (Flúor, Carbono, Cloro). Clorofluorcarbono. Son los primeros causantes del deterioro de la capa de ozono e internacionalmente ya se ha prohibido su fabricación y empleo.

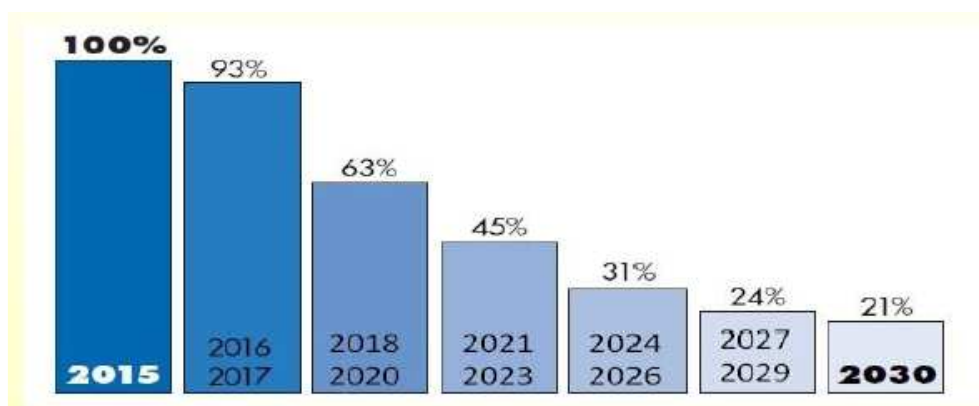
Contienen hidrógeno y flúor en su molécula y estos lo hacen muy estable en la atmósfera por largos periodos de tiempo. En esta familia encontramos los R11, R12, R115.

b) HCFC (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro). También afectan la capa de ozono pero en menor cuantía y su desaparición está prevista para el 2015. El R22 es el componente principal de la familia.

c) HFC (Hidrógeno, Flúor, Carbono). Desarrollado en respuesta a los refrigerantes de la segunda generación no presentan potencial destructor de la capa de ozono. En este grupo clasifican el: R134A, R404A, R407F,...

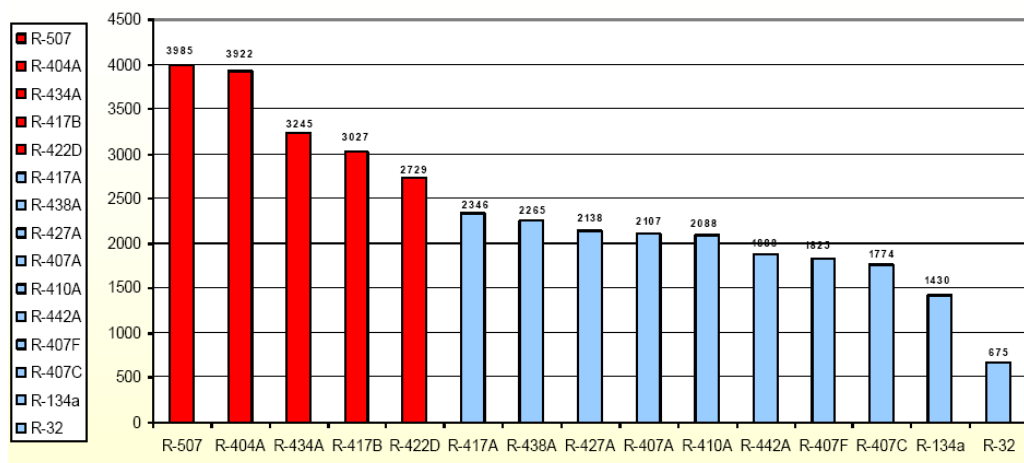
d) Refrigerantes con **GWP <150** Desarrollado para reducir el potencial de calentamiento global (GWP) de refrigerantes por las generaciones anteriores.

Actualmente la Comisión Europea ha propuesto reducir la cantidad de HFC que puede colocarse en el mercado entre 2015 y 2030, en un 79%. El programa de reducción es el siguiente:



**Tabla 4.** Propuesta CE reducción gases HFC





**Tabla 5. Comparativa GWP refrigerantes**

Para limitar el uso de los refrigerantes con mayor GWP, se crea la LEY 16/2013 que establece una Tasa sobre el PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico en 100 años de los gases, tomando como unidad el CO<sub>2</sub>) tomando como unidad el CO<sub>2</sub>.

TASAS PARA MEZCLAS DE REFRIGERANTES					
HFC	PCA	TASA €/Kg TOTAL	TASA €/Kg FRACCIONADO EN AÑOS		
			2014	2015	2016
R-404A	3784	75,68	24,97	49,95	75,68
R-407A	1990	39,80	13,13	26,27	39,80
R-407C	1653	33,05	10,91	21,81	33,05
R-407F	1705	34,10	11,25	22,51	34,10
R-410A	1975	39,50	13,04	26,07	39,50
R-417A	2235	44,69	14,75	29,50	44,69
R-417B	2923	58,47	19,29	38,59	58,47
R-422A	3043	60,86	20,08	40,17	60,86
R-422D	2623	52,46	17,31	34,62	52,46
R-424A	2329	46,57	15,37	30,74	46,57
R-426A	1382	27,65	9,12	18,25	27,65
R-427A	2013	40,25	13,28	26,57	40,25
R-428A	3495	69,90	23,07	46,14	69,90
R-434A	3131	62,62	20,66	41,33	62,62
R-437A	1684	33,67	11,11	22,22	33,67
R-438A	2151	43,03	14,20	28,40	43,03
R-442A	1793	35,86	11,83	23,67	35,86
R-507	3850	77,00	25,41	50,82	77,00

\* El cálculo del Tipo Impositivo es el resultado de multiplicar el PCA de cada refrigerante x 0,020 €.

\* PCA (Potencial Calentamiento Atmosférico)

**Tabla 6. Tasas gases refrigerantes**

El funcionamiento de un sistema de refrigeración depende, en gran medida, de las propiedades del refrigerante utilizado. El R404A es uno de los más ampliamente utilizados hasta la fecha para sistemas de congelación, pero como hemos explicado, instalaciones Comerciales e Industriales de todo tipo deben responder a criterios de sostenibilidad, impacto medioambiental y eficiencia energética cada vez más rigurosos. Las legislaciones, los controles, y sus consecuentes regímenes sancionadores, comportan una adaptación constante de estas instalaciones para responder a los parámetros exigidos por la normativa. Por ello, viendo la buena posición que ocupa el refrigerante R407F en las tablas 5 y 6, **el presente proyecto se desarrollará con la finalidad de estimar las ventajas del refrigerante R407F frente al R404A.**



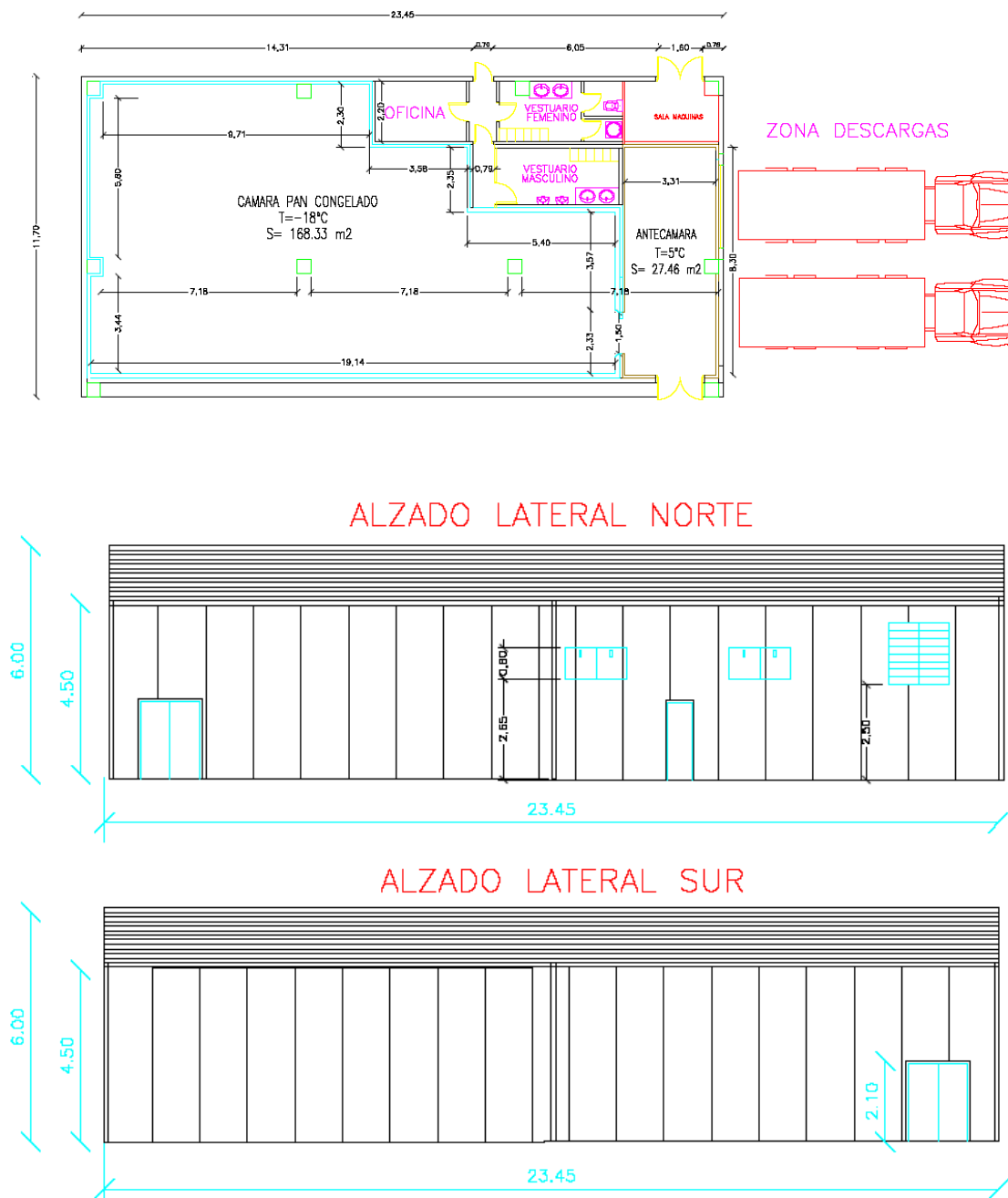
## CAPITULO 3: CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

---



### 3.1.- DESCRIPCION DE LA NAVE

La cámara de congelado objeto de estudio trata de un ejemplo ficticio, tiene una superficie de 168,33 m<sup>2</sup> y se encuentra en el interior de una nave de 274,36 m<sup>2</sup> de superficie. El emplazamiento de la nave es el Polígono Industrial Errotatxu, (48993) Getxo, Bizkaia. Se trata de una nave exenta, sin otras construcciones colindantes. En la *Figura 10* se muestran planos de la nave realizados con Autocad para el presente proyecto.



**Figura 10.** Alzado y planta de la nave y cámara congelado objeto proyecto

Todas las medidas empleadas a lo largo del proyecto, tanto de la nave, como de la cámara de congelado objeto de este estudio, han sido extraídas de los planos adjuntos en el Anexo I.

Dentro de la misma se encuentran las siguientes dependencias:

Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Antecámara	27.46
<b>Cámara de congelado</b>	<b>168.33</b>
Oficina	7.29
Vestuario masculino	9.90
Vestuario femenino	9.90
Sala de máquinas	7.25

*Tabla 7. Superficies útiles de la nave.*

Como se ha comentado con anterioridad, el propósito de la cámara de congelado es el almacenamiento de pan congelado, para su posterior distribución a una cadena de supermercados.

El objetivo fundamental en el transporte de productos refrigerados es conseguir conservar que la temperatura del producto se vea alterada lo menos posible. Por ello, se va a considerar que el transporte del pan hasta la cámara de congelación se realiza en un camión refrigerado a una temperatura de 5°C. La descarga se lleva a cabo a través de un muelle de carga-descarga situado en la cara este, donde se colocará una puerta de abrigo retráctil (*Figura 11*) que conecta directamente con una antecámara a 5°C. Esta zona de carga y descarga, será por tanto un espacio climatizado a temperatura fija de 5°C, con el fin de que el producto sufra lo menor posible hasta almacenarse en su ubicación definitiva.



*Figura 11. Puerta abrigo retráctil*

La manipulación de la mercancía se realizará mediante carretillas de propulsión eléctrica con baterías recargables cumpliendo con las estipulaciones sanitarias. Dentro de la nave no se fabricará o elaborará el producto, limitándose las instalaciones a la recepción, almacenamiento y expedición de los diferentes tipos de pan congelado. Al trabajar con una única tipología de producto, se podrán almacenar sin problema en una única cámara frigorífica cuya temperatura interior será de -18°C.

### 3.1.1 Características del producto a congelar

La cámara frigorífica será capaz de recibir, envasar y almacenar 3.500 cajas de género. El almacenamiento se realizará mediante palets de 1200x800 mm (Europalets), con un peso y una altura máximo de 200 kg y de 1.00 m por unidad de carga paletizada.

Los palets se colocarán a lo largo del suelo de la cámara en una única altura.

Palet=1200 x 800

Superficie cámara = 168,33 m<sup>2</sup>

Almacenamiento máximo = 168,33 / 0,96 = 175 palets

Dimensiones caja 600 x 400 x 200 mm

Cajas por palet = 20 cajas

Barras de pan por caja = 40 barras

Peso caja= 6,3 kg / caja

**Capacidad total de la instalación = 175 x 20 x 6,3 = 22050 kg**

La *Tabla 8* nos muestra los requisitos para almacenamiento y propiedades productos perecederos, de donde extraeremos los datos de nuestro producto: Pan Congelado. [1]

Producto	Temperatura Almacenam °C	Humedad Relativa %	Vida Aproxima de Almacena- miento	Contenido de agua %	Princip. Congela ción °C	C.E. encima del punto congelación kJ/(kg.K)	C.E. debajo del punto congelación kJ/(kg.K)	Calor Latente kJ/kg
Peanut brittle	-18 a 1	40	1.5 a 6 M.	2		0.90	0.86	6.7
Fudge	-18 a 1	65	5 a 12 M.	10		1.17	0.96	33
Marshmallows	-18 a 1	65	3 a 9 M.	17		1.40	1.05	57
<b>-DIVERSOS-</b>								
Comida de alfalfa	-18 (ó -)	70 a 75	Más 1 A					
Cerveza barril	2 a 4		3 a 8 S.	90	-2.2 <sup>b</sup>	3.85	1.97	300
Botellas botes	2 a 4	65 (ó -)	3 a 6 M.	90				
Pan	-18		3 a 13 S.	32 a 37		1.99	1.27	106 a 123
Conservas bote	0 a 16	79 (ó -)	1 A.					
Cacao	0 a 4	50 a 70	Más 1 A					
Coco	0 a 2	80 a 85	1 a 2 M.	47	-0.9	2.41	1.43	157
Café verde	2 a 3	80 a 85	2 a 4 M.	10 a 15		1.17 a 1.34	0.96 a 1.03	33 a 50
Piel y tejidos	1 a 4	45 a 55	Varios A.					
Miel	Inferior a 10		Más 1 A	17		1.40	1.05	57
Lúpulo	-2 a 0	50 a 60	Varios A.					
Manteca /	7	90 a 95	4 a 8 M.	0				
../Sin antioxidante	-18	90 a 95	12 a 14 M.	0				
Jarabe de arce				33		1.94	1.25	110
Frutos secos	0 a 10	65 a 75	8 a 12 M.	3 a 6		0.94 a 1.04	0.88 a 0.91	10 a 20
Aceite para aliñar	21		Más 1 A.	0				
Oleomargarina	2	60 a 70	Más 1 A.	16		1.37	1.04	53
Zumo de naranja	-1 a 2		3 a 6 S.	89		3.82	1.95	297
Granos de maíz para palomitas	0 a 4	85	4 a 6 S.	10		1.17	0.96	33
Levadura de pan. comprimida	-0.6 a 0			71		3.21	1.73	237
Tabaco de / Barril	10 a 18	50 a 65	1 A.					
../Balas	2 a 4	70 a 85	1 a 2 A.					
../Cigarrillos	2 a 8	50 a 55	6 M.					
../Cigarros	2 a 10	60 a 65	2 M.					

C.E. Calor Específico

Vida aproximada de almacenamiento

D. Días, S. Semanas, M. Meses, A. Años (Fuente: ASHRE HANDBOOK 1990, REFRIGERATION Systems and Applications)

**Tabla 8.** Requisitos para almacenamiento y propiedades productos perecederos.

### 3.1.2 Composición de los cerramientos

Procederemos a la determinación de componentes y descripción de los materiales utilizados en cada cerramiento, para posteriormente realizar el cálculo del espesor del aislante en cada uno de ellos.

#### 3.1.2.1 Paredes

El cerramiento de toda la nave, así como las divisiones interiores (zona de oficinas, vestuarios y sala de frío) se llevará a cabo mediante fábrica ladrillo macizo de  $\frac{1}{2}$  pie de espesor recibido con mortero. Se empleará un revestimiento interior y exterior de enfoscado, maestreado y fratasado con mortero y finalmente se aplicará un acabado con pintura plástica en las zonas interiores.



**Figura 12.** Aislamiento paredes cámara

Por su parte, tanto la cámara frigorífica como la antecámara se aislarán mediante paneles sándwich. Una de las múltiples ventajas en la utilización del panel sándwich, es la de englobar en un único elemento: aislante, barrera antivapor y revestimiento. El alma del panel será de poliuretano (PPU), con una conductividad térmica ( $\lambda$ ) = 0,021 W/m°C [2] e irán sujetos a los techos a través de las correas mediante tornillos autorroscantes. El espesor del aislante será nuestra incógnita a calcular.

Material	Espesor (e) (m)	Conductividad Termica ( $\lambda$ ) (W/mK)	Resistencia Termica (R) (m <sup>2</sup> K/W)
Ladrillo macizo	0,25	0,87	0,287
Mortero Cemento	0,03	1,4	0,021
Aislante	¿?	0,021	¿?

**Tabla 9.** Propiedades de los materiales empleados en paredes

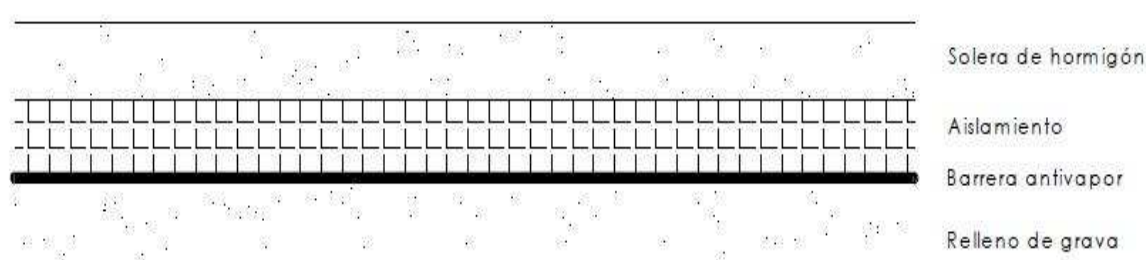


### 3.1.2.2 Suelo

En toda la nave, se colocará una solera de relleno de grava de 25 cm y una capa de hormigón HA-25/B/40/IIa de 15 cm de espesor que irá armada con un mallazo electrosoldado de redondos de 8 mm cada 20 cm.

Sobre la misma, se construirá un solado de baldosas de antideslizantes de gres compacto en oficinas y otro de baldosas de cerámica en vestuarios y aseos.

En la cámara frigorífica, la placa de aislante para el suelo, irá colocada entre la capa de grava y la de hormigón, tal y como indica la siguiente figura:



**Figura 13.** Suelo de cámara

El suelo estará aislado mediante planchas de espuma rígida de poliuretano de densidad 70 kg/m<sup>3</sup> ( $\lambda = 0,021$  W/m°C).

Material	Espesor (e) (m)	Conductividad Termica ( $\lambda$ ) (W/mK)	Resistencia Termica (R) (m <sup>2</sup> K/W)
Hormigón en masa	0,15	1,63	0,092
Aislante	¿?	0,021	¿?
Grava	0,25	1,21	0,206

**Tabla 10.** Propiedades de los materiales empleados en suelo

### 3.1.2.3 Techos

La nave tiene una altura de 6m y un techado a dos aguas, que favorecerá la evacuación de lluvia y su exposición directa a la radiación solar. La cubierta de la nave estará formada por chapa grecada. La altura de la cámara será de 5m, y estará constituida por paneles sándwich ( $\lambda = 0,021$  W/m°C [2] anclados a las correas. El techo de oficinas y vestuarios estará constituido por placas de escayola lisa sustentadas.

Material	Espesor (e) (m)	Conductividad Termica ( $\lambda$ ) (W/mK)	Resistencia Termica (R) (m <sup>2</sup> K/W)
Aislante	¿?	0,021	¿?

**Tabla 11.** Propiedades de los materiales empleados en techo



*Figura 14. Techo de cámara*

#### 3.1.2.4. Puertas

La puerta entre la cámara y la antecámara será metálica, seccional, industrial, manual y fabricada con paneles metálicos prelacados de doble pared y aislante intermedio de poliuretano inyectado densidad 50 kg/m<sup>3</sup> (Figura 15).

Las puertas de entrada a las oficinas serán abatibles de una hoja de aluminio lacado, con rotura de puente térmico mediante pletinas aislantes de poliamida.

Por otra parte, las de la sala de frío y el generador contarán con doble chapa lisa de acero galvanizado de 1 mm. de espesor, engatillada, realizada en dos bandejas, con rigidizadores de tubo rectangular, y rejillas de ventilación en la parte inferior.



*Figura 15. Puerta antecámara-cámara*

### 3.2.-CALCULO ESPESOR DEL AISLANTE

Según marca la norma **UNE-EN ISO 12241:2010** se supone una transferencia de calor máxima de  $q'' = 6.98 \text{ W/m}^2$ . Este dato es imprescindible para dimensionar el espesor del aislante. El flujo de calor que atraviesa un muro en régimen estacionario, y a cuyos lados existen temperaturas  $t_e$  y  $t_i$  (exterior e interior, con  $t_e > t_i$ ), viene dado por la fórmula:

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T \Rightarrow q'' = \frac{Q}{S} = U \cdot \Delta T \quad [Ec.1]$$

Donde  $U$  es el coeficiente global de transmisión de calor y  $\Delta T$  la diferencia entre la temperatura interior y exterior.

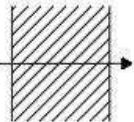

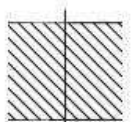
### 3.2.1. Cálculo del coeficiente global transmisión de calor

El coeficiente global de pérdidas, para un cerramiento formado por una serie de capas planoparalelas, de distintos materiales viene definido por la Ec. 2. [3]:

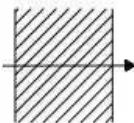
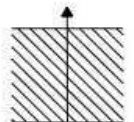

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e} \quad [Ec.2]$$

Donde nuestra incógnita a calcular será el espesor del aislante en cada uno de los cerramientos de nuestra cámara.

Los valores de  $h_i$  y  $h_e$  deben estimarse para los cálculos, en función de la posición del cerramiento, el sentido del flujo de calor y la situación del cerramiento. Los valores se obtienen a partir de las *Tablas 12 y 13*.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

**Tabla 12.** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup>K/W [4].

Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente		0,17	0,17

**Tabla 13.** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con una partición interior en m<sup>2</sup>K/W [4].

Particularizando para nuestra cámara los valores resultantes se muestran en la *Tabla 14*:

Posición del cerramiento	1/hi	1/he	1/hi+1/he
Paredes exteriores	0,13	-	0,13
Paredes interiores	0,13	0,13	0,26
Techo	0,17	-	0,17
Suelo	0,10		0,10

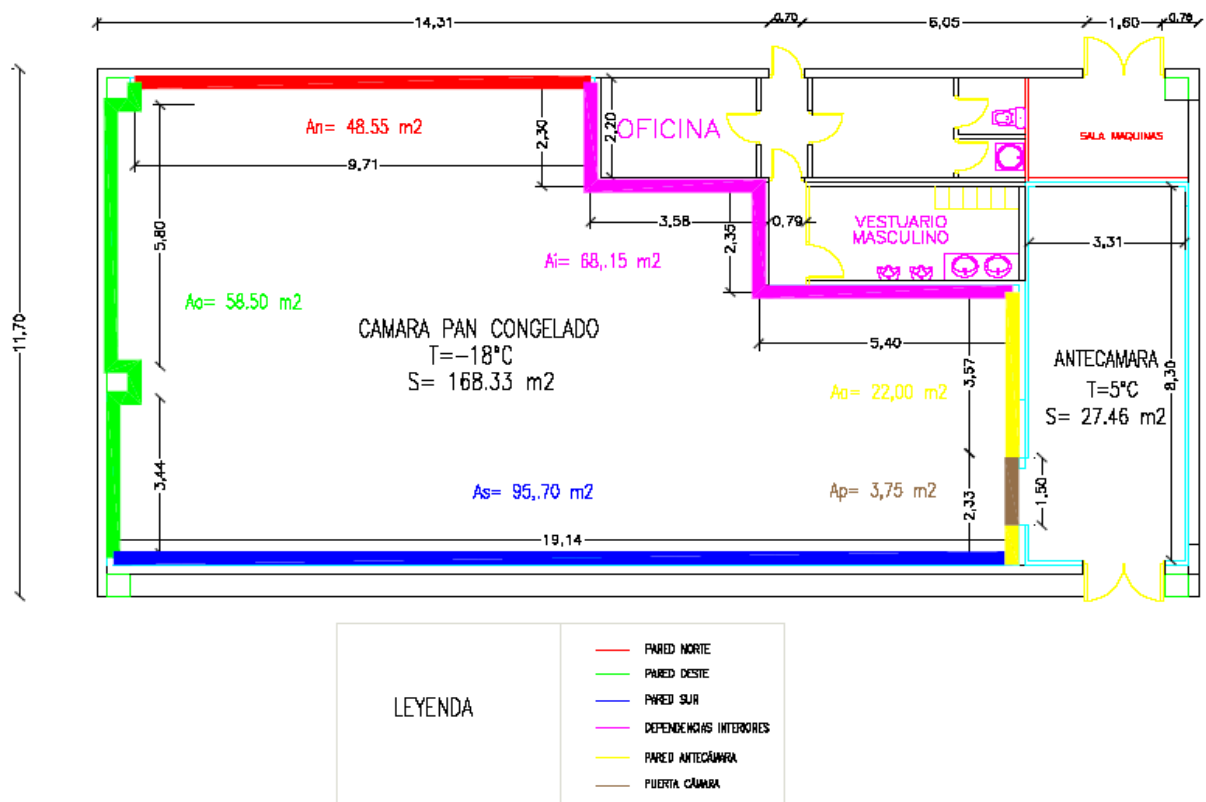
**Tabla 14.** Coeficientes superficiales transmisión de calor exterior e interior ( $m^2K/W$ )

### 3.2.2. Cálculo temperatura exterior

Tal como se aprecia en la Ec. 1, la transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior de nuestra cámara. Por tanto necesitamos conocer la temperatura exterior en cada momento. A través de los datos facilitados por el *C.T.E [5]*, en la región donde esta ubicada nuestra nave, disponemos de las temperaturas anuales hora a hora, de modo que tomaremos como temperatura exterior de cálculo la más restrictiva, es decir, la temperatura máxima del mes más cálido. La temperatura exterior en cada cerramiento, dependerá de la orientación de cada paramento.

$$T_{\text{ext}} = 32\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (20 \text{ de julio a las } 16:00 \text{ h})$$

Para ello definimos en primer lugar, cada una de las orientaciones, según se representa en la siguiente figura.



**Figura 16.** Orientación paredes cámara congelado

La Temperatura Exterior de cada paramento, según su orientación, y aplicando las ecuaciones dadas por [6], resulta:

Orientación	Corrección	T <sub>ec</sub> (°C)
Pared norte	$0,6 \cdot T_{ext}$	19,2
Pared sur	$T_{ext} + 5$	37,0
Pared este	$T_{ext} + 8$	40,0
Pared oeste	$0,8 \cdot T_{ext}$	25,6
Techo	$T_{ext} + 12$	44,0
Suelo	$(T_{ext} + 15)/2$	23,50

**Tabla 15.** Valores temperatura exterior corregidos en función de la orientación [6]

### 3.2.3. Cálculo del espesor del aislante

Como indicamos al inicio de este capítulo, la composición de las paredes de la nave será un muro de ladrillo  $\frac{1}{2}$  pie, con revoque de cemento por fuera.

Las paredes de la cámara de congelado estarán formadas por paneles sándwich, cuyo espesor es la incógnita que debemos calcular.

Tal como marca nuestro Proyecto nos centraremos en obtener los datos de la cámara de congelado. Los resultados para la antecámara se realizarían de forma idéntica.

1.-) Se definen las áreas de la cámara:

Elemento o muro	Cálculo (m)	Area (m <sup>2</sup> )
Norte	5,00 x 9,81	48,55
Sur	5,00 x 19,14	95,70
Antecámara	5,00 x 4,40	22,00
Oeste	5,00 x 11,70	58,50
Puerta cámara	1,50 x 2,50	60,96
Paredes interiores	(17,90+27,00+11,50+11,75)	68,15
Techo	-	168,33
Suelo	-	168,33

**Tabla 16.** Áreas de cada paramento

2.-) De la teoría de transferencia de calor utilizando [Ec. 1] y [Ec.2], todo es conocido salvo el espesor del aislante. Por tanto se despeja y se obtiene dicho espesor:

Cámara	$\Delta T$ (°C)	$1/h_i + 1/h_e$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$1/U$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$R_i$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$R_c$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$R_p$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$R_g$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	$R_h$ (°Cm <sup>2</sup> /W)	Ea (m)
Norte	37,2	0,13	5,330	0,287	0,021	4,851	-	-	0,103
Oeste	43,6	0,13	6,246	0,287	0,021	5,767	-	-	0,122
Sur	55	0,13	7,880	0,287	0,021	7,401	-	-	0,156
Antecámara	23	0,26	3,295	-	-	3,035	-	-	0,064
Puerta cámara	23	0,26	3,295	-	-	3,035	-	-	0,064
Dep. interiores	40	0,26	5,731	0,287	0,021	5,162	-	-	0,108
Techo	62	0,17	8,883	-	-	8,673	-	-	0,183
Suelo	41,5	0,1	5,946	-	-	5,846	0,207	0,092	0,123

**Tabla 17.** Cálculo espesor de panel

De los valores de espesor del aislante ( $E_a$ ), observamos que el valor más restrictivo nos lo marca la pared sur con un espesor de 155 mm. Con ello observamos catalogo de fabricante de paneles TAVER. [2]

**ESPESORES 40 Y 200: MEDIDAS A DETERMINAR SEGÚN NECESIDADES EN MÓDULOS DE 930 mm y 1.140 mm RESPECTIVAMENTE**

ANCHO PANEL MM						
espesor mm	380	760	930	1140		
40	-	-	☺	-		
70	☺	☺	☺	☺		
100	☺	☺	☺	☺		
155	☺	☺	-	☺		
200	-	-	-	☺		

ESPESOR RECOMENDADO SEGÚN RANGO DE TRABAJO (ORIENTATIVO)						
espesor = e	$k^*$	$\bullet^{**}$	peso panel	<500 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup> <R<1000 m <sup>3</sup>	<1000 m <sup>3</sup>
	Kcal/m <sup>2</sup> h°C	Kcal/mh°C				
40	0,52	0,021	12 Kg/m <sup>2</sup>	5°C<R<20°C	5°C<R<20°C	5°C<R<20°C
70	0,30	0,021	14 Kg/m <sup>2</sup>	0°C<R<5°C	0°C<R<5°C	0°C<R<5°C
100	0,21	0,021	15 Kg/m <sup>2</sup>	-20°C<R<0°C	recomendado 155 mm.	Si el panel va al exterior, se recomienda 155 mm.
155	0,13	0,021	17 Kg/m <sup>2</sup>	-40°C<R<-20°C	recomendado 200 mm.	Si el panel va al exterior, se recomienda 200 mm.
200	0,10	0,021	19 Kg/m <sup>2</sup>		-40°C<R<-20°C	

$k^*$  coeficiente de transmisión = coeficiente de conductividad / e  
 $\bullet^{**}$  coeficiente de conductividad

**Tabla 18.** Espesores recomendados según fabricante

Para optimizar montaje y precio, lo ideal es realizar todas las paredes con el mismo espesor, por lo que el espesor elegido será  $E_a = 200$  mm y  $(\lambda) = 0,021$  W/m°C

El techo también tendrá un espesor  $E_a = 200$  mm cubriendo el valor resultante y un coeficiente conductividad  $(\lambda) = 0,021$  W/m°C

La puerta de la cámara nos iremos a un panel de  $E_a = 100$  mm debido al rango de temperaturas.  $(\lambda) = 0,021$  W/m°C


El suelo estará aislado mediante planchas de espuma rígida de poliuretano de densidad 70 kg/m<sup>3</sup> ( $\lambda = 0,021$  W/m°C) de 150 mm de espesor para la cámara y 65 mm para la antecámara.

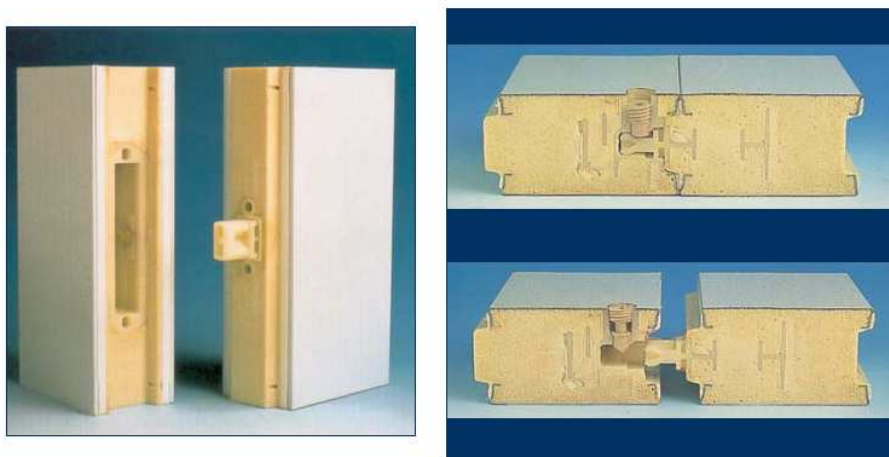
Cámara	$E_a$ (m)
Norte	0,200
Oeste	0,200
Sur	0,200
Antecámara	0,200
Puerta cámara	0,100
Dependencias interiores	0,200
Techo	0,200
Suelo	0,150

**Tabla 19.** Espesores elegidos para nuestra cámara



Los paneles frigoríficos usados serán el modelo InstaLack del fabricante TAVER, los cuales están formados por dos chapas de acero, cuyas aristas están totalmente perfiladas y protegidas contra la oxidación, y un alma de espuma de poliuretano inyectado a alta presión con una densidad media de  $43 \text{ kg/m}^3$ .

Los paneles poseen un peso relativamente bajo y una gran estabilidad dimensional, lo cual les confiere grandes cualidades constructivas. Cumplen con la norma UNE 41.950, que otorga el uso de marca . La clasificación en prueba de reacción al fuego es M2, de acuerdo con la norma UNE 23.727-90.



**Figura 17.** Paneles TAVER con sistema InstaLack

Con los espesores del aislante se calcula el coeficiente de transferencia de calor,  $U$ , incluyendo el efecto de la convección exterior e interior:

Cámara	Text (°C)	Tint (°C)	$\Delta T$ (°C)	Ea (m)	S (m <sup>2</sup> )	U (W/°Cm <sup>2</sup> )
Norte	19,2	-18	37,2	0,200	48,55	0,100
Oeste	25,6	-18	43,6	0,200	58,50	0,100
Sur	37	-18	55	0,200	95,70	0,100
Antecámara	5	-18	23	0,200	22,00	0,102
Puerta cámara	5	-18	23	0,100	3,75	0,199
Dependencias interiores	22	-18	40	0,200	68,15	0,099
Techo	44	-18	62	0,200	168,33	0,103
Suelo	23,5	-18	41,5	0,150	168,33	0,133

**Tabla 20 .** Cálculo coeficiente transferencia de calor  $U$

### **3.3.-CALCULO CARGA TÉRMICA**

En este apartado se calculará la carga térmica máxima, que determinará la potencia nominal del equipo de enfriamiento capaz de mantener nuestra cámara de congelado a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Este cálculo se realizará teniendo en cuenta las siguientes cargas térmicas:

### 3.3.1. Carga térmica debida a pérdidas por transmisión por paredes, techo y suelo

Como indicamos en el apartado 2.2, la expresión que rige el flujo de calor que atraviesa un muro de superficie muy grande en relación a su espesor  $e$ , en régimen estacionario, y a cuyos lados existen temperaturas  $t_e$  y  $t_i$  (siendo  $t_e > t_i$ ), viene dado por la expresión [7]:

$$Q_1 = U \cdot S \cdot \Delta T \quad [\text{Ec. 1}]$$

Cámara	U (W/°Cm²)	S (m²)	T <sub>ext</sub> (°C)	T <sub>int</sub> (°C)	ΔT (°C)	Q (W)
Norte	0,100	48,55	19,2	-18	37,2	181,28
Oeste	0,100	58,50	25,6	-18	43,6	256,01
Sur	0,100	95,70	37	-18	55	528,31
Antecámara	0,102	22,00	5	-18	23	51,72
Puerta cámara	0,199	3,75	5	-18	23	17,17
Dependencias interiores	0,099	68,15	22	-18	40	270,09
Techo	0,103	168,33	44	-18	62	1076,61
Suelo	0,133	168,33	23,5	-18	41,5	926,26

$$Q_1 = 3307,45 \text{ W}$$

**Tabla 21 . Cálculo carga térmica por transmisión calor por paredes  $Q_1$**

### 3.3.2. Carga térmica debida a las necesidades por renovación de aire

La carga térmica a evacuar de un recinto frigorífico debida a la renovación de aire es una variable que incluye aquellas renovaciones que técnicamente son aconsejables para la buena conservación del producto, como las infiltraciones de aire a través de las puertas, cuando estas se encuentran abiertas. Para calcularla utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$Q_2 = V \cdot \rho \cdot N \cdot \Delta h \quad [\text{Ec. 3}]$$

Exponemos en la siguiente tabla los datos empleados para el cálculo, los cuales han sido extraídos de la AEMET.

Condiciones ambientales	Simbolo	Valor	Unidades
Temperatura exterior media anual	T <sub>ext</sub>	14,48	°C
Temperatura interior	T <sub>int</sub>	-18	°C
HR exterior	Φ <sub>ext</sub>	75	%
HR interior	Φ <sub>int</sub>	90	%
Densidad del aire	ρ	1,225	kg/m³

**Tabla 22. Condiciones ambientales**



Conocidas las condiciones, procedemos a determinar las entalpías del aire exterior e interior utilizando los Diagramas Psicométricos del aire a baja y alta temperatura, los cuales se adjuntan en el *ANEXO II*.

$$h_{\text{int}} = -16,95 \text{ kJ/kgaire}$$

$$h_{\text{ext}} = 37,54 \text{ kJ/kgaire}$$

Las renovaciones de aire, las obtenemos utilizando la *Tabla 23*, en función del volumen de nuestra cámara. ( $V = 168,33 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 841,65 \text{ m}^3$ )

Volumen (m <sup>3</sup> )	Renovaciones por día (n/d)		Volumen (m <sup>3</sup> )	Renovaciones por día (n/d)	
	Temp <0°C	Temp >0°C		Temp <0°C	Temp >0°C
2,5	52	70	100	6,8	9
3	47	63	150	5,4	7
4	40	53	200	4,6	6
5	35	47	250	4,1	5,3
7,5	28	38	300	3,7	4,8
10	24	32	400	3,1	4,1
15	19	26	500	2,8	3,6
20	16,5	22	600	2,5	3,2
25	14,5	19,5	800	2,1	2,8
30	13,0	17,5	1.000	1,9	2,4
40	11,5	15,0	1.500	1,5	1,95
50	10,0	13,0	2.000	1,3	1,65
60	9,0	12,0	2.500	1,1	1,45
80	7,7	10,0	3.000	1,05	1,05

**Tabla 23.** Renovaciones aire por día en función volumen cámara [6]

En nuestro caso, tomaremos  $N=2$ ,

Finalmente la carga térmica por renovación es:

$$Q_2 = V \cdot \rho \cdot N \cdot \Delta h = 841,65 \cdot 1,225 \cdot 2 \cdot (37,54 - (-16,95)) = 1300,47 \text{ W}$$

### 3.3.3. Carga térmica debida a las pérdidas por refrigeración y/o congelación del producto

Nuestro producto previamente llega en el transporte a 5°C y se descarga a la antecámara manteniendo la misma temperatura. Posteriormente pasará a la cámara de congelación a -18°C, por tanto, como consecuencia las etapas de enfriamiento de nuestro producto serán:

*Frío necesario para disminuir temperatura desde entrada hasta congelación ( $Q_{31}$ )*

$$Q_{31} = C_{p+} \cdot m_{\text{ent}} \cdot (T_d - T_e) / 86400 \quad [\text{Ec. 4}]$$

*Frio invertido en la congelación ( $Q_{32}$ ):*

$$Q_{32} = (L \cdot m_{\text{ent}}) / 86400 \quad [\text{Ec. 5}]$$

*Frio invertido para disminuir la temperatura del producto desde el punto de congelación hasta la temperatura deseable para su mantenimiento ( $Q_{33}$ ):*

$$Q_{33} = C_{p-} \cdot m_{\text{ent}} \cdot (T_c - T_a) / 86400 \quad [\text{Ec. 6}]$$

Motivado por su diaria distribución mediante camiones frigoríficos, supondremos una entrada del 40% de la capacidad total de la instalación, en un solo día. En el momento de la puesta en marcha de la instalación o en el periodo de máximo volumen de ventas, podríamos estar hablando de caso límite.

En este caso, el flujo de entrada sería:

✓ Cantidad entrada de material al día

$$m_{\text{ent}} = 40\% \text{ de } 22.050 \text{ kg/día} = \mathbf{8.820 \text{ kg/día}}$$

La *Tabla 24* muestra las condiciones de nuestro producto, a partir de las cuales procedemos a calcular la carga térmica debida a las pérdidas por refrigeración y/o congelación del producto:

Condiciones productos	Simbolo	Valor	Unidades
Calor de congelación	L	115	kJ/kg
Calor específico pan ( $t > 0^\circ\text{C}$ )	$C_{p+}$	1,99	kJ/kg $^\circ\text{C}$
Calor específico pan ( $t < 0^\circ\text{C}$ )	$C_{p-}$	1,27	KJ/kg $^\circ\text{C}$
Capacidad instalación	$m_{\text{ent}}$	8820	kg
Temperatura descarga	$T_d$	5	$^\circ\text{C}$
Temperatura congelación	$T_c$	0	$^\circ\text{C}$
Temperatura almacenamiento	$T_a$	-18	$^\circ\text{C}$

*Tabla 24 . Condiciones del producto*

$$Q_{31} = C_{p+} \cdot m_{\text{ent}} \cdot (T_d - T_c) = 2,93 \cdot 8820 \cdot (5 - 0) / 86400 = \mathbf{1,49 \text{ kW}}$$

$$Q_{32} = L \cdot m_{\text{ent}} = (115 \cdot 8820) / 86400 = \mathbf{11,74 \text{ kW}}$$

$$Q_{33} = C_{p-} \cdot m_{\text{ent}} \cdot (T_c - T_a) = 1,42 \cdot 8820 \cdot (0 - (-18)) / 86400 = \mathbf{2,61 \text{ kW}}$$

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32} + Q_{33} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32} + Q_{33} = 1,49 + 11,74 + 2,61 = \mathbf{15,84 \text{ kW}}$$

### 3.3.4. Carga térmica debida al calor desprendido por maquinaria

Es el calor debido al trabajo de los motores y las máquinas en el espacio frío. El más típico es el calor causado por los motores de los ventiladores del evaporador, pero también se deben contar, cualquier máquina que desarrolle su trabajo dentro de la cámara.

Debido a que tanto la potencia de los motores como el número de horas de funcionamiento de los mismos no son conocidos a priori, en la práctica y de forma bastante aproximada se toma como equivalente calorífico del trabajo de los ventiladores un valor entre el 5% y el 8% de  $Q_1+Q_2+Q_3$ . Por tanto

$$Q_4 = 0,08 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$Q_4 = 0,08 \cdot (3307,45 + 1300,47 + 15840) = 1635,83 \text{ W}$$

### 3.3.5. Carga térmica aportada por las personas

El personal que almacena o manipula productos en una cámara frigorífica aporta calor, sobre todo si realiza un trabajo intenso.

$$Q_5 = (q \cdot n) \quad [\text{Ec. 9}]$$

El calor emitido por persona aumenta a medida que disminuye la temperatura, como se puede apreciar en la tabla siguiente:

Temperatura de la cámara (°C)	Potencia liberada por persona (W)
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

**Tabla 25.** Potencia liberada por persona en función temperatura cámara [6]

La potencia que desprende una persona a -18°C, según la tabla, es de 390W.

$$Q_5 = (q \cdot n) = (390 \cdot 1) = 390 \text{ W}$$

### 3.3.6. Carga térmica aportada por la iluminación

La potencia eléctrica dedicada a la iluminación puede determinarse según criterios estandarizados. Lo usual es prever dos niveles de iluminación diferentes para zona de almacenaje y zona de trabajo, en el caso de que hubiese dos zonas. Estos valores son respectivamente, de 12 y 27 W/m<sup>2</sup>.

Las lámparas de incandescencia invierten una parte de la potencia consumida en producir calor. Los fluorescentes, a causa de la potencia reactiva, producen un 30% más, por lo que no suelen utilizarse.

$$Q_6 = i \cdot S_c \quad [\text{Ec. 10}]$$

En nuestro caso, tomaremos como valor de intensidad lumínica (i)= 12 W/m<sup>2</sup>, y un tipo de luces no fluorescentes. Por lo tanto, la potencia y la carga térmica de iluminación será:

$$Q_6 = i \cdot S_c = 12 \cdot 168,33 = \mathbf{2019,96 \text{ W}}$$

La carga total será :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$Q_T = 3307,45 + 1300,47 + 15840 + 1635,83 + 390 + 2019,96 = \mathbf{24,49 \text{ KW}}$$

A continuación, le aplicaremos a  $Q_T$  un factor de seguridad del 10% para asegurar el correcto funcionamiento de nuestra instalación:

$$Q_F = 1,10 \cdot 24,49 \text{ KW} = \mathbf{26,94 \text{ KW}} \quad [\text{Ec. 12}]$$

En la tabla siguiente son presentados los resultados obtenidos para las diferentes partidas o cargas térmicas, así como las totales. El último valor de la tabla será utilizado para la selección del evaporador.

Transferencia de calor	Símbolo	Carga Térmica (W)
Paredes	Q1	3307,45
Renovación de aire	Q2	1300,47
Producto	Q3	15840
Maquinaria	Q4	1635,83
Personas	Q5	390
Iluminación	Q6	2019,96
Carga térmica total	Q <sub>T</sub>	24493,71
Carga térmica total ( 10% factor seguridad)	Q <sub>F</sub>	26943,08

**Tabla 26.** Resumen cargas térmicas

## CAPITULO 4: CICLO DE REFRIGERACIÓN

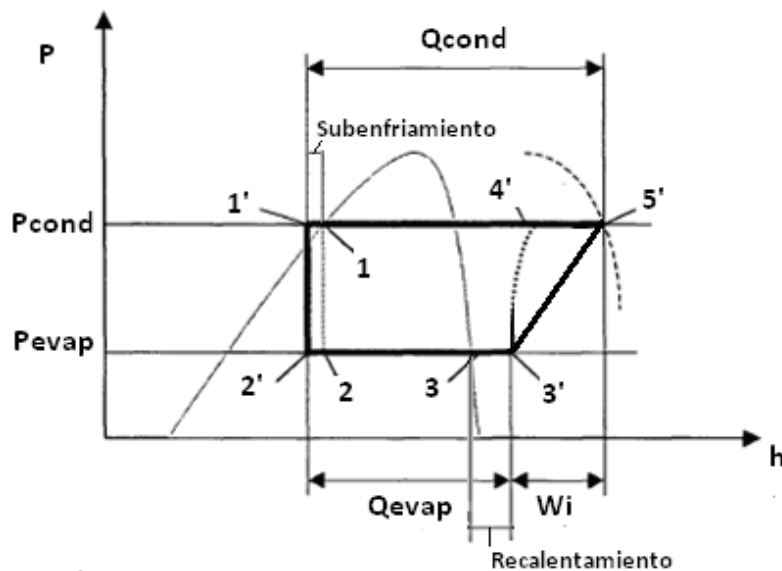
---



#### 4.1.-INTRODUCCIÓN

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica es la refrigeración, que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior. Los dispositivos que producen la refrigeración se llaman refrigeradores, y los ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración por compresión de vapor, donde el refrigerante se evapora y condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor.

El calor fluye desde una zona de alta temperatura a una de baja temperatura sin necesidad de algún dispositivo. El proceso inverso no sucede por sí solo (principio de la segunda ley de la termodinámica), para lograr transferir calor desde una zona de baja temperatura a una de alta sin violar la segunda ley requiere de dispositivos especiales conocidos como refrigeradores. Los refrigeradores son dispositivos cíclicos y los fluidos de trabajo empleados en los ciclos de refrigeración se llaman refrigerantes.



**Figura 18.** Ciclo refrigerante con los puntos más significativos

La *Temperatura de Evaporación* ( $T_{evap}$ ) se determina a partir de la temperatura interior, considerando un salto  $dT_{evap} = 5^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C}$  para cámaras de congelación.

$$T_{evap} = T_{int} - dT_{evap}$$

A la hora de determinar la *Temperatura de Condensación* ( $T_{cond}$ ) es preciso tener en cuenta el denominado, salto térmico en el condensador, que es la diferencia entre la temperatura de condensación y la que tiene el fluido refrigerador (agua o aire) a la entrada del condensador. En condensadores de aire, para que la transferencia de calor sea rápida y este elemento tenga unas dimensiones adecuadas, el salto térmico de condensación debe ser entre  $dT_{cond} = 10 - 20^{\circ}\text{C}$  más elevada que la temperatura del aire de entrada.

$$T_{cond} = T_{amb} + dT_{cond}$$

Al introducir en el diagrama P-h del refrigerante elegido, las temperaturas de evaporación y condensación se obtienen las presiones de evaporación  $P_{evap}$  y condensación  $P_{cond}$ .

El refrigerante que circula por cada uno de los componentes del equipo da lugar a que se produzcan pérdidas de carga, las cuales son más significativas en el evaporador y en el condensador. Debido a esto se realizan las siguientes consideraciones para los evaporadores y condensadores, diseñándose para una pérdida de carga del 10% y 5%, respectivamente, de la presión absoluta de trabajo. Las presiones reales para evaporador y condensador son:

$$P_{aspiración} = 0,9 \cdot P_{evap} \quad [\text{Ec. 13}]$$

$$P_{descarga} = 1,05 \cdot P_{cond} \quad [\text{Ec. 14}]$$

Las pérdidas de carga en ambos componentes serán:

$$\Delta P_{evap} = P_{evap} - P_{aspiración} \quad [\text{Ec. 15}]$$

$$\Delta P_{cond} = P_{descarga} - P_{cond} \quad [\text{Ec. 16}]$$

Una vez calculadas las presiones de aspiración y descarga, la relación de compresión viene dada por la siguiente expresión:

$$r_c = P_{descarga} / P_{aspiración} \quad [\text{Ec. 17}]$$

A continuación se detalla el proceso que tiene lugar entre cada uno de los puntos marcados en el ciclo, así como la función de cada uno sus componentes:

#### ➤ **Evaporador (proceso 2'-3'):**

Los procesos que tienen lugar en el evaporador se representan en el diagrama por la línea  $2' \rightarrow 3'$ , que es una línea horizontal y por tanto de presión constante (isóbara). En el Punto 2' llega al evaporador una mezcla de refrigerante líquido y refrigerante vapor procedente del dispositivo de expansión. Esta mezcla se encuentra a baja temperatura y a baja presión.

El proceso  $2' \rightarrow 3$  representa la ebullición del refrigerante líquido; a lo largo de este tramo el líquido se vaporiza, ganando calor latente procedente de la cámara que queramos enfriar. Durante este proceso temperatura y presión permanecen teóricamente constantes.

Al llegar al Punto 3, todo el fluido frigorígeno se encuentra en estado vapor saturado. Aunque el vapor está a baja temperatura, su escasa capacidad para absorber calor, (pequeño calor específico) hace que su uso para enfriamiento de producto ya no sea interesante.

El proceso  $3 \rightarrow 3'$  recibe el nombre de recalentamiento, consiste en ceder algo de calor al vapor refrigerante para alejarlo de la línea de saturación, este calor, habitualmente procede de la cámara o mercancía y se propicia su cesión en las últimas filas del evaporador. El objeto del recalentamiento es el de asegurar que no entra refrigerante líquido al compresor que podría dañarlo, dado que no se comprime.



Al fenómeno de entrada de líquido en el compresor se le conoce como golpe de líquido. Durante el recalentamiento el refrigerante incrementa su temperatura ( $\Delta T_{rec} = 3 - 10^\circ \text{C}$ ), permaneciendo la presión constante.

A continuación los principales parámetros que se pueden obtener a partir del diagrama:

*Calor específico en evaporador:* Es el frío producido por un kilogramo de refrigerante, se calcula como la diferencia de entalpías entre la entrada y la salida del evaporador:

$$q_{evap} = h_{3'} - h_2 \quad [\text{Ec. 18}]$$

*Flujo másico de refrigerante:* Conocido el valor del calor específico en el evaporador y su potencia, la cual será igual a la carga térmica máxima ( $Q_e = Q_F$ ) es posible calcular el caudal de refrigerante que circula por el circuito.

$$m_r = Q_F / q_{evap} \quad [\text{Ec. 19}]$$

*Potencia de los ventiladores del evaporador*

$$W_{ventevap} = \frac{(m_{evap} \cdot \Delta P_{ventevap})}{(\rho \cdot \eta_{evap})} \quad [\text{Ec. 20}]$$

$$m_{evap} = \frac{(Q_{evap})}{(C_p \cdot \Delta T_{evap})} \quad [\text{Ec. 21}]$$

Donde:

- $m_{evap}$  el flujo másico de refrigerante del evaporador (Kg/s)
- $\Delta P_{ventevap}$  es la pérdida de carga en el evaporador (Pa)
- $\rho$  la densidad del aire (1,22 Kg/m<sup>3</sup>)
- $\eta_{evap}$  el rendimiento del ventilador evaporador tomando un valor de 0,6
- $Q_{evap}$  es la potencia del evaporador, igual a la carga térmica máxima (W)
- $C_p$  es el calor específico del aire (1004,67 J/KgK)
- $\Delta T_{evap}$  es la temperatura entre el aire que entra al evaporador y el que sale.

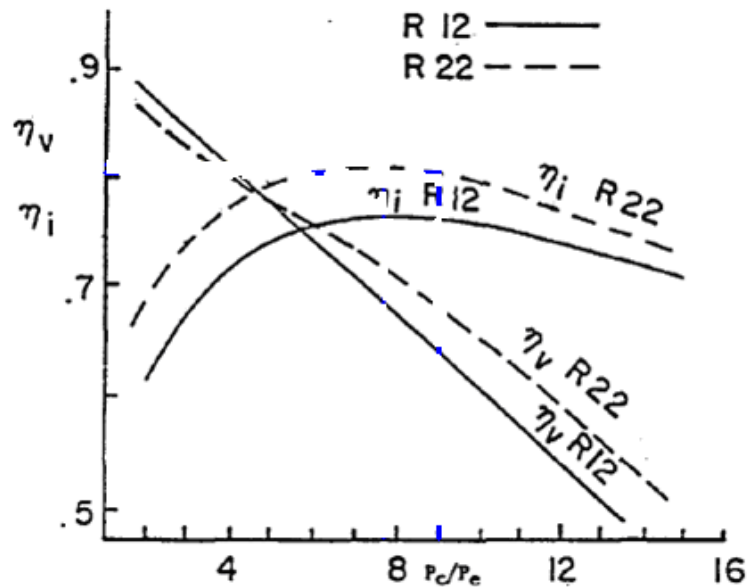
### ➤ **Compresor (proceso 3'-5'):**

Se representa en el diagrama mediante el segmento  $3' \rightarrow 5$ . Este proceso tiene lugar, teóricamente, a lo largo de una línea llamada isoentrópica, que considera el comportamiento del compresor como ideal, resultando una buena aproximación.

Durante el proceso de compresión, el refrigerante aumenta su presión y como consecuencia, su temperatura, que puede llegar a ser del orden de  $90^\circ \text{C}$  en la descarga del compresor, manteniéndose en estado de vapor.

A partir del diagrama se puede obtener el trabajo específico del compresor, que posteriormente habría que corregir con los rendimientos de compresor, transmisión y motor.

*Trabajo específico de compresión:* Es el trabajo que realiza el compresor para comprimir un kilogramo de refrigerante. Empleando la *Figura 19* con la relación de compresión obtendremos el rendimiento indicado.



**Figura 19.** Rendimiento indicado para R22 y R12

Al no disponer de una gráfica específica para el rendimiento indicado de los gases refrigerantes analizados se supone de manera aproximada que sus comportamientos son similares al del R-22. Esta aproximación puede realizarse ya que las relaciones de compresión de los refrigerantes son similares.

El punto de descarga del compresor, punto 5 del diagrama se calcula mediante la siguiente expresión:

$$h_5 = h_3' + \frac{(h_4' - h_3')}{\eta} \quad [\text{Ec. 22}]$$

$$w_{\text{comp}} = h_5 - h_3' \quad [\text{Ec. 23}]$$

*Potencia isoentrópica de compresión:* Es la potencia consumida por el compresor al comprimir de forma ideal el caudal másico de refrigerante, se calcula como el producto del caudal másico por el trabajo isoentrópico de compresión:

$$W_{\text{comp}} = m_r \cdot w_{\text{comp}} \quad [\text{Ec. 24}]$$

*Trabajo mecánico específico del compresor*

$$W_{\text{mec}} = W_{\text{comp}} / \eta_{\text{mec}} \quad [\text{Ec. 25}]$$

*Trabajo eléctrico específico del compresor*

$$W_{\text{elec}} = W_{\text{mec}} / \eta_{\text{elec}} \quad [\text{Ec. 26}]$$

*Potencia eléctrica del compresor*

$$W_{\text{elec}} = m_r \cdot W_{\text{elec}} \quad [\text{Ec. 27}]$$

### ➤ **Condensador (proceso 5'-1'):**

Los procesos que tienen lugar en el condensador se representan en el diagrama por la línea  $5 \rightarrow 1'$ , y ocurren a lo largo de una línea de presión constante (isóbara). En el Punto 5 se recibe el refrigerante del compresor como vapor, a alta presión y alta temperatura. En el primer tramo del condensador ( $5 \rightarrow 4'$ ), el vapor se enfría, cediendo calor sensible al medio condensante, perdiendo temperatura, pero permaneciendo en estado vapor. En el Punto 4, se alcanza la temperatura de rocío del refrigerante a la presión de condensación. A partir de ese instante el vapor refrigerante cede calor latente al medio condensante, condensándose ( $4 \rightarrow 1$ ) y volviéndose líquido. A medida que avanzamos en el condensador aumenta la proporción de líquido y disminuye la de vapor. Es importante hacer notar que durante la condensación de fluidos puros, la temperatura permanece constante. En el Punto 1 termina el proceso de condensación, porque todo el refrigerante ha pasado a líquido. Ocurre que, a estas alturas el líquido refrigerante todavía está más caliente que el medio condensante, por lo que todavía se puede enfriar un poco más. Al proceso  $1 \rightarrow 1'$  se le llama subenfriamiento, a lo largo de él, el refrigerante pierde temperatura (entre 5 y 10° C) cediendo calor sensible al medio condensante. El subenfriamiento es positivo, al mejorar la producción frigorífica específica y aumentar la proporción de líquido a la salida del dispositivo de expansión.

*Calor específico de condensación:* Es el calor que es necesario extraer para desrecalentar, condensar y subenfriar un kilogramo de refrigerante:

$$q_{\text{cond}} = h_5 - h_1, \quad [\text{Ec. 28}]$$

*Potencia necesaria en el condensador:* Es la potencia a absorber por el medio condensante:

$$Q_{\text{cond}} = m_r \cdot q_{\text{cond}} \quad [\text{Ec. 29}]$$

*Potencia de los ventiladores del condensador*

$$W_{ventcond} = \frac{(m_{cond} \cdot \Delta P_{ventcond})}{(\rho \cdot \eta_{cond})} \quad [\text{Ec.30}]$$

$$m_{cond} = \frac{(Q_{cond})}{(C_p \cdot \Delta T_{cond})} \quad [\text{Ec. 31}]$$

Siendo:

- $m_{cond}$  el flujo másico de refrigerante del condensador (Kg/s)
- $\Delta P_{ventcond}$  es la pérdida de carga en el condensador (Pa)
- $\rho$  la densidad del aire (1,22 Kg/m<sup>3</sup>)
- $\eta_{cond}$  el rendimiento del ventilador condensador tomando un valor de 0,6.
- $Q_{cond}$  es la potencia del condensador (W)
- $C_p$  es el calor específico del aire (1004,67 J/KgK)
- $\Delta T_{cond}$  es la diferencia de temperatura entre la impulsión y el exterior.

➤ **Válvula expansión (proceso 1'-2):**

En el dispositivo de expansión el refrigerante pasa desde la presión del condensador hasta la presión del evaporador, a través de un proceso llamado laminación isoentálpica ( $h_2 = h_{1'}$ ), representado en el diagrama de Mollier como un segmento de recta vertical, desde el punto 1' hasta el Punto 2.

La laminación isoentálpica consiste en hacer pasar el refrigerante a través de un “accidente” que provoque pérdida de presión, como el orificio estrecho de una válvula o un tubo largo y de muy pequeño diámetro como el tubo capilar. Durante este proceso la entalpía del fluido permanece constante, y la presión y temperatura del fluido disminuyen, como consecuencia de la formación de una pequeña fracción de vapor refrigerante.

➤ **COP's:**

El COP de la máquina determina la clasificación energética. Refleja la relación capacidad/consumo de los equipos de un sistema de refrigeración. Equipos con bajo COP son equipos con un consumo elevado. Se distinguirá entre:

*Coeficiente de eficiencia energética indicado ( $COP_{ind}$ )*

$$COP_{ind} = Q_{evap} / W_{comp} \quad [\text{Ec. 32}]$$

*Coeficiente de eficiencia energética mecánico ( $COP_{mec}$ )*

$$COP_{mec} = Q_{evap} / W_{mec} \quad [\text{Ec. 33}]$$

*Coeficiente de eficiencia energética eléctrico ( $COP_{elec}$ )*

$$COP_{elec} = Q_{evap} / (W_{elec} + W_{ventevap} + W_{ventcond}) \quad [\text{Ec. 34}]$$

## 4.2.- CARACTERÍSTICAS REFRIGERANTES R404A Y R407F

### 4.2.1. - R404A

#### Propiedades físicas

Componentes:	Nombre químico:	Fórmula molecular:	Peso %:
HFC-125	Pentafluoroetano	$\text{CHF}_2\text{CF}_3$	44%
HFC-143a	1,1,1 Trifluoroetano	$\text{CH}_3\text{CF}_3$	52%
HFC-134a	1,1,1,2 Tetrafluoroetano	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	4%
Peso molecular			97.6
Punto de ebullición <sup>iv</sup> (°C)			-46.2
Temperatura crítica (°C)			72.2
Presión crítica (kPa)			3668.6
Densidad crítica (kg/m <sup>3</sup> )			483.7
Densidad del líquido saturado <sup>v</sup> (kg/m <sup>3</sup> )			1034.7
Calor de evaporización en el punto de ebullición <sup>i</sup> (kJ/kg)			35.8
Calor específico del vapor a presión constante <sup>vi</sup> (kJ/kg.°C)			0.09
Gama inflamable, % volumen en aire			Ninguna <sup>ii</sup>
Potencial de Destrucción de Ozono (ODP-R11 = 1)			0
Clasificación del grupo de seguridad según ASHRAE/ANSI norma 34-1992			A1/A1

<sup>i</sup> Refprop v 4.0 (NIST)

<sup>ii</sup> Límites de inflamabilidad medidos utilizando ASTM E681 con fuente de ignición de cocina activada eléctricamente según ASHRAE norma 34.

<sup>iv</sup> a 101.3 kPa

<sup>v</sup> a 26.7 °C

<sup>vi</sup> Cp a 101.3 kPa y 26.7 °C

#### Tabla temperatura/ presión

Temperatura (°C)	Presión de burbuja (líquido) (kPa)	Presión de rocío (vapor) (kPa)
-60	51	48
-56	63	60
-52	78	74
-48	95	91
-44	114	110
-40	137	133
-36	164	159
-32	194	188
-28	228	222
-24	267	260
-20	310	303
-16	359	351
-12	414	405
-8	474	465
-4	541	531
0	615	604
4	696	685
8	785	773
12	882	869
16	987	974
20	1102	1089
24	1227	1213

#### INFORMACIÓN ECOLÓGICA

##### Toxicidad para los peces

• 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a) : CL50 / 96 h/ Oncorhynchus mykiss (Trucha irisada) : 450 mg/l

##### Toxicidad acuática

• 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a) : / CE50/ 48 h/ Daphnia: 980 mg/l

Potencial de calentamiento global (PCG) : 3 748

**Tabla 27. Propiedades R404A [7]**

## 4.2.2. - R407F

## Propiedades físicas

Nombre químico	Difluorometano Pentafluoroetano Tetrafluoroetano
Fórmula molecular	$\text{CH}_2\text{F}_2/\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_2\text{FCF}_3$
Aspecto	Incoloro
Peso molecular	82,1

Unidades	Sistema inglés	Sistema métrico internacional
Temperatura del punto de burbuja	-50,9 °F (1 atm)	-46,1 °C (101,3 kPa)
Temperatura del punto de rocío	-39,4 °F (1 atm)	-39,7 °C (101,3 kPa)
Presión del punto de burbuja†	190,2 (Psia)	1311 (kPa)
Presión del punto de rocío†	165,9 (Psia)	1144 (kPa)
Temperatura crítica	180,8 °F	82,6°C
Presión crítica	689,5 (Psia)	4754 (kPa)
Volumen crítico	0,0336 (ft³/lb)	0,0021 (m³/kg)
Densidad crítica	29,8 (lb/ft³)	477,37 (kg/m³)
Densidad del vapor	0,279 (lb/ft³) (1 atm)	4,465 (kg/m³) (101,3 kPa)
Densidad del líquido	69,73 (lb/ft³)	1117 (kg/m³)
Capacidad térmica del líquido	0,38 (Btu/lb °F)	1,57 (kJ/kg K)
Capacidad térmica del vapor†	0,28 (Btu/lb °F)	1,18 (kJ/kg K)
Calor de vaporización	110,66(Btu/lb) (1 atm)	257,21 (kJ/kg) (101,3 kPa)
Conductividad térmica del líquido†	0,052 (Btu/hr ft °F)	89,71 (mW/m °K)
Conductividad térmica del vapor†	0,0084 (Btu/hr ft °F)	14,51 (mW/m °K)
Viscosidad del líquido†	0,348 (lbm/ft hr)	143,99 (μPa.s)
Viscosidad del vapor†	0,032 (lbm/ft hr)	13,20 a (μPa.seg)
Límites de inflamabilidad en el aire (% volumen)	Ninguno *	
Potencial de destrucción del ozono (ODP)	0.0	
Clasificación del grupo de seguridad según ASHRAE	A1/A1	

\* Basado en el estándar 34 de ASHRAE de ignición por llama.

† Todos los datos están tomados a una temperatura de 25 °C (77 °F) a menos que se indique lo contrario.

## INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

## Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Potencial de reducción de ozono (ODP) : 0

Potencial de calentamiento global (PCG) : 1.705

## Otra información de inventario

EE.UU. Toxic Substances Control Act (Ley de control de sustancias tóxicas) : En el Inventario TSCA

Tabla 28. Propiedades R407F [7]

#### 4.2.3. – Comparativa entre R404 y R407F

**1. Reducción en las emisiones de carbono.** Pruebas realizadas han permitido establecer el mejor rendimiento del gas R407F en relación con otros gases a los que está sustituyendo de forma paulatina, como el R404A y el R407A. Así, su potencial de calentamiento atmosférico (1.824) es cerca de un 50% menor que el del refrigerante R404A (3.922), y más bajo que cualquier otra alternativa utilizada en refrigeración comercial.

**2. Menor tasa.** Con efectos desde el 1 de enero de 2014 se crea el Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero, un tributo de naturaleza indirecta que recae sobre el consumo de aquellos productos comprendidos en su ámbito objetivo y grava, en fase única, atendiendo al potencial de calentamiento atmosférico.

A los efectos de este Impuesto, tienen la consideración de «gases fluorados de efecto invernadero»: los hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), así como los preparados que contengan dichas sustancias, incluso regenerados y reciclados en ambos casos, excluyéndose las sustancias reguladas con arreglo al Reglamento (CE) n.º 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de septiembre de 2009, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.

**3. Ahorro en las facturas de consumo de energía.** En cuanto al consumo energético, el 8% de ahorro evidenciado en ensayos (ahorro debido estrictamente al refrigerante y en el peor de los casos, y con criterios muy restrictivos sobre influencia de la diferencia de temperatura ambiente), ratifica los ahorros de otros trabajos de campo realizados con ahorros de hasta el 15% en relación a los sistemas que operan con el R404A.

**4. Aplicación en instalaciones ya existentes.** Para la utilización del R407F, no es necesaria una sustitución de las instalaciones de refrigeración. Con una serie de ajustes mínimos, puede utilizarse sin ningún problema en las instalaciones existentes. De esta forma, la necesaria renovación del parque de instalaciones de refrigeración con gas que están afrontando establecimientos comerciales e industrias encuentra un óptimo aliado en este nuevo refrigerante.

**5. Homologado por los principales fabricantes de componentes, y manejable por técnicos e instaladores.** El R407F está homologado por los principales fabricantes de compresores, válvulas y otros componentes, y su manipulación no comporta diferencias significativas para los técnicos e instaladores habituales de lo que se desprende que pueden manejarlo sin grandes cambios y de forma segura.

La conclusión es que la capacidad de reducción del consumo energético que aporta el R407F, sumada a la menor emisión de CO<sub>2</sub> respecto a sus competidores, lo convierten en el refrigerante idóneo para sustituir a los gases utilizados hasta ahora. El potencial de mejora de la rentabilidad global de las operaciones relacionadas con la refrigeración lo convierten en un producto clave en industrias cada vez más sostenibles.

**4.3.- CALCULO DEL CICLO: Tª EXTERIOR MAS ALTA Y MAS BAJA**

A continuación, se realizan los cálculos específicos de los ciclos de refrigeración en función de los dos gases refrigerantes elegidos R404A y R407F. Se considerará para ambos casos, la temperatura máxima del día más caluroso ( $T_{\text{ext}}=32^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura mínima del día más frío ( $T_{\text{ext}}=-2,5^{\circ}\text{C}$ ), cubriendo de este modo los puntos más restrictivos. Los resultados finales, nos permitirán proceder a la selección los componentes de nuestro equipo de refrigeración.

En ambos casos partiremos de las siguientes condiciones iniciales:

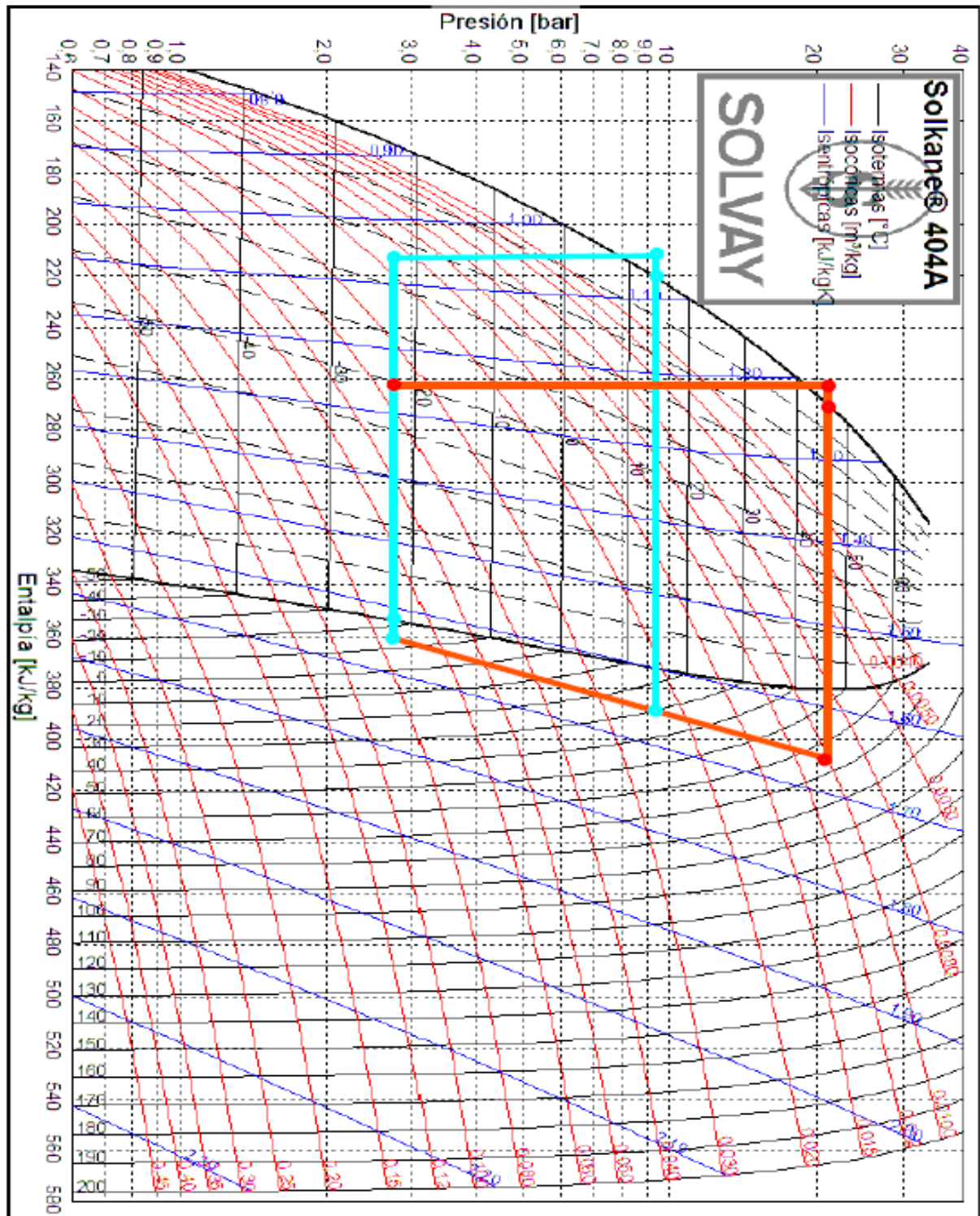
Parámetros	Nomenclatura	Datos
Temperatura exterior	$T_{\text{ext}}$	32 °C o -2.5 °C
Temperatura interior	$T_{\text{int}}$	-18 °C
Temperatura condensación	$T_c$	$T_{\text{ext}} + 15^{\circ}\text{C}$
Temperatura evaporación	$T_e$	$T_{\text{int}} - 5^{\circ}\text{C}$
Temperatura recalentamiento	$T_r$	10 °C
Temperatura subenfriamiento	$T_s$	5 °C
Rendimiento mecánico	$\eta_{\text{mec}}$	0,90
Rendimiento eléctrico	$\eta_{\text{elec}}$	0,90

*Tabla 29. Condiciones iniciales ciclos de refrigeración*



## 4.3.1. - R404A

En la *Figura 20* se muestran los ciclos del refrigerante en un diagrama ph para el día más caluroso (naranja) y el más frío (azul):



**Figura 20.** Diagrama P-h para nuestro equipo con R404A

Según la metodología de cálculo explicada anteriormente, los resultados obtenidos para el R404A son:

<b>DIA MAS CALUROSO (Tmax = 32°C)</b>								
Refrigerante	Tcond	Tevap	P <sub>evap</sub> (bar)	P <sub>cond</sub> (bar)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>des</sub> (bar)	r <sub>c</sub>	η
R404A	46,90	-23,00	2,80	21,50	2,52	22,58	8,96	0,83

<b>DIA MAS FRIO (Tmin= -2,5°C)</b>								
Refrigerante	Tcond	Tevap	P <sub>evap</sub> (bar)	P <sub>cond</sub> (bar)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>des</sub> (bar)	r <sub>c</sub>	η
R404A	12,5	-23	2,80	9,20	2,52	9,66	3,83	0,76

**Tabla 30.** Resumen datos diagrama P-h R404A

Las entalpías resultantes en los puntos más significativos para ambos días serían:

R404A	Tmax 32°C	Tmin -2,5°C
-------	--------------	----------------

Estado del refrigerante	h (kJ/kg)	h (kJ/kg)
1 : Liquido Saturado	270,90	215,40
1': Liquido Subenfriado – Entrada válvula expansión	262,25	208,76
2': Liquido+Vapor – Salida válvula de expansión	262,25	208,76
3 : Vapor saturado	353,59	353,49
3': Vapor recalentado – Entrada compresor	362,16	362,16
4': Vapor recalentado - Fin compresión isoentrópica	405,96	387,63
5 : Punto de descarga del compresor	413,55	395,30

**Tabla 31.** Resumen entalpías R404A

El resto de parámetros de nuestro equipo quedan reflejados en la *Tabla 32*:

**DIA MAS CALUROSO**  
( $T_{max} = 32^{\circ}\text{C}$ )

Refrigerante	$m_r$ (kg/s)	$Q_{evap}$ (kW)	$Q_{cond}$ (kW)	$W_{comp}$ (kW)	$W_{ventevap}$ (kW)	$W_{ventcond}$ (kW)	$W_{elec}$ (kW)	$COP_{elec}$
R404A	0,270	26,943	40,795	13,857	3,052	0,943	17,108	1,276

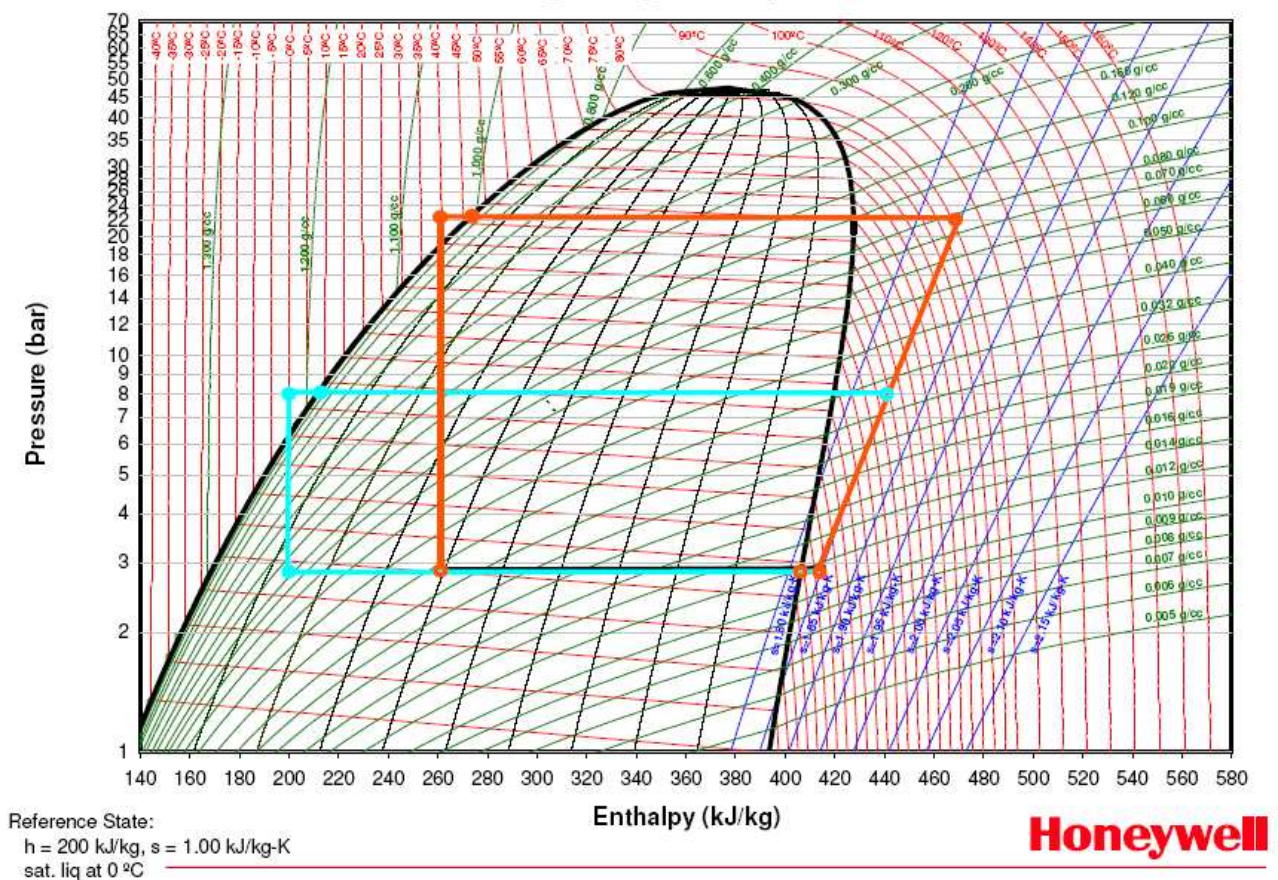
**DIA MAS FRIO**  
( $T_{min} = -2,5^{\circ}\text{C}$ )

Refrigerante	$m_r$ (kg/s)	$Q_{evap}$ (kW)	$Q_{cond}$ (kW)	$W_{comp}$ (kW)	$W_{ventevap}$ (kW)	$W_{ventcond}$ (kW)	$W_{elec}$ (kW)	$COP_{elec}$
R404A	0,163	25,068	30,485	5,417	2,840	0,705	6,687	2,450

*Tabla 32 . Resumen resultados R404A*

#### 4.3.2.- R407F

### Performax LT



*Figura 21. Diagrama P-h para nuestro equipo con R407F*

Según la metodología de cálculo explicada anteriormente, los resultados obtenidos para el R404A son:

<b>DIA MAS CALUROSO</b> ( $T_{max} = 32^{\circ}\text{C}$ )								
Refrigerante	$T_{cond}$	$T_{evap}$	$P_{evap}$ (bar)	$P_{cond}$ (bar)	$P_{asp}$ (bar)	$P_{des}$ (bar)	$r_c$	$\eta$
R407F	47	-23	2,90	22,00	2,61	23,10	8,85	0,82

<b>DIA MAS FRIO</b> ( $T_{min} = -2,5^{\circ}\text{C}$ )								
Refrigerante	$T_{cond}$	$T_{evap}$	$P_{evap}$ (bar)	$P_{cond}$ (bar)	$P_{asp}$ (bar)	$P_{des}$ (bar)	$r_c$	$\eta$
R407F	12,5	-23	2,90	8,00	2,61	8,40	3,22	0,74

**Tabla 33.** Resumen datos diagrama P-h R407F

Las entalpías resultantes en los puntos más significativos para ambos días serían:

R407F	$T_{max}$ $32^{\circ}\text{C}$	$T_{min}$ $-2,5^{\circ}\text{C}$
-------	-----------------------------------	-------------------------------------

Estado del refrigerante	$h$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)
1 : Liquido Saturado	267,74	203,89
1': Liquido Subenfriado – Entrada válvula expansión	269,10	217,68
2': Liquido+Vapor – Salida válvula de expansión	269,10	217,68
3 : Vapor saturado	407,15	407,15
3': Vapor recalentado – Entrada compresor	410,97	410,97
4': Vapor recalentado - Fin compresión isoentrópica	463,89	433,92
5 : Punto de descarga del compresor	475,75	441,80

**Tabla 34.** Resumen entalpías R407F

El resto de parámetros de nuestro equipo quedan reflejados en la *Tabla 35*:

**DIA MAS  
CALUROSO  
( $T_{max} = 32^{\circ}\text{C}$ )**

Refrigerante	$m_r$ (kg/s)	$Q_{evap}$ (kW)	$Q_{cond}$ (kW)	$W_{comp}$ (kW)	$W_{ventevap}$ (kW)	$W_{ventcond}$ (kW)	$W_{elec}$ (kW)	$COP_{elec}$
<b>R407F</b>	0,190	26,943	39,238	12,300	3,052	0,907	15,185	1,407

**DIA MAS FRIO  
( $T_{min} = -2,5^{\circ}\text{C}$ )**

Refrigerante	$m_r$ (kg/s)	$Q_{evap}$ (kW)	$Q_{cond}$ (kW)	$W_{comp}$ (kW)	$W_{ventevap}$ (kW)	$W_{ventcond}$ (kW)	$W_{elec}$ (kW)	$COP_{elec}$
<b>R407F</b>	0,130	25,070	29,067	3,998	2,840	0,672	4,937	2,967

*Tabla 35. Resumen resultados R407F*

Datos / Refrigerante	R404A		R407F	
	T= 32°C	T= -2,5°C	T= 32°C	T= -2,5°C
$P_{evap}$ (bar)	2,80	2,80	2,90	2,90
$P_{cond}$ (bar)	21,50	9,20	22,00	8,00
$r_c$	8,96	3,83	8,85	3,22
$m_r$ (kg/s)	0,270	0,163	0,190	0,130
$Q_{evap}$ (kW)	26,943	25,070	26,943	25,070
$Q_{cond}$ (kW)	40,795	30,485	39,238	29,067
$W_{comp}$ (kW)	13,857	5,417	12,300	3,998
$W_{ventevap}$ (kW)	3,052	2,840	3,052	2,840
$W_{ventcond}$ (kW)	0,943	0,705	0,907	0,672
$W_{elec}$ (kW)	17,108	6,687	15,185	4,937
$COP_{elec}$	1,276	2,450	1,407	2,967

*Tabla 36. Resumen de datos ciclo R404A y R407F*



## CAPITULO 5: RESULTADOS ANUALES SIMULACIONES

---





## 5.1- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

A continuación se mostrarán los resultados de potencia y eficiencia del sistema para el día más caluroso, el día más frío y para todo el año.

Retomando el ciclo ejemplo de la *Figura 17* para la nomenclatura, el punto 3 será el único fijo, ya que la temperatura de evaporación está fijada y también lo está el recalentamiento. La temperatura de condensación será variable, y por tanto lo será también la entalpía de  $h_4'$ ,  $h_5$ ,  $h_1'$ ,  $h_2'$  y el rendimiento indicado.

Para automatizar los cálculos siempre se ha buscado ajustar una serie de puntos a funciones definidas (polinómicas), con el objetivo de obtener funciones dependientes de la temperatura y así poder hacer todos los cálculos a partir de la base de datos de temperatura que se ha obtenido anteriormente.

En todo momento durante el proceso de cálculo, se buscará ajustar una serie de datos a funciones definidas (polinómicas o lineales) de modo que siempre se obtengan ecuaciones donde la incógnita sea siempre una temperatura.

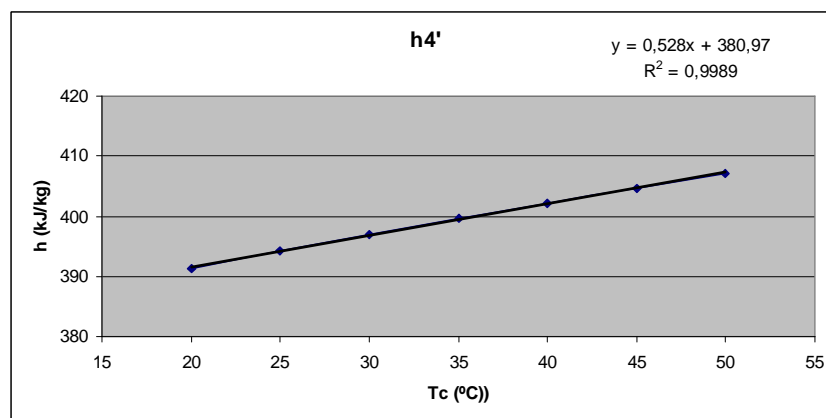
Previo a todo el proceso de cálculo y para cada refrigerante, se han importado de la tabla de propiedades de saturación, las columnas de temperatura, presión de saturación y entalpías de líquido y vapor. Se tomará como ejemplo el realizado para el R404A.

### ➤ Obtención $h_4'$ y $h_5$ :

El punto 4' se obtiene siguiendo sobre el gráfico la línea isentrópica que pasa por el punto 3. Para una temperatura dada, basta con interceptar esa isentrópica con la línea de temperatura constante correspondiente. Como se tiene una base de datos con un gran número de puntos, se creará una tabla de doble entrada, temperatura de evaporación-entalpía de final de compresión isentrópica.

Tamb	Tc	Pc	Pe	$h_4'$
°C	°C	bar	bar	kJ/kg)
5	20	10,92	2,80	391,28
10	25	12,41	2,80	394,18
15	30	14,01	2,80	396,97
20	35	15,73	2,80	399,65
25	40	17,56	2,80	402,24
30	45	19,51	2,80	404,73
35	50	21,57	2,80	407,13

**Tabla 37.** Datos relación  $T_c - h_4'$  del R404A



**Figura 22.** Ajuste  $h_4'$  R404A a función polinómica

Calculando previamente el rendimiento indicado, y aplicando la [Ec.22] obtenemos la entalpía en el punto 5.

$$h_5 = \frac{(h_4' - h_3')}{\eta} + h_3'$$

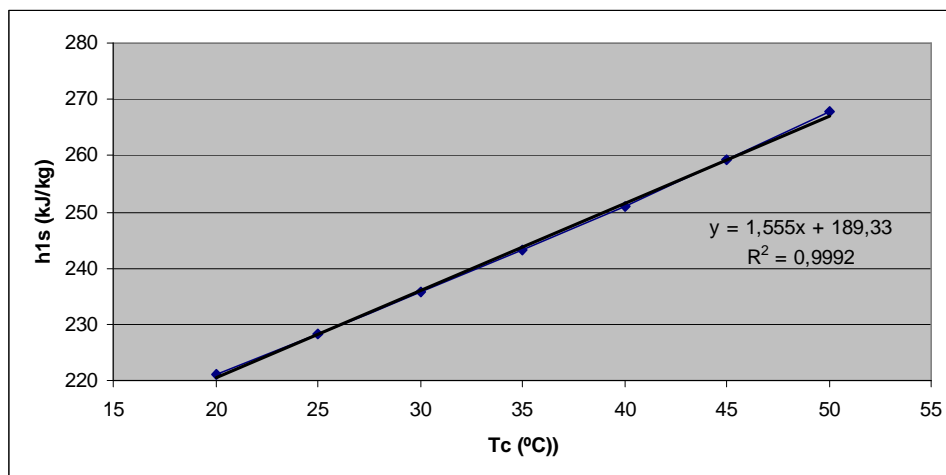
Entre los puntos 5 y 1 que modelan el comportamiento del condensador, se da una disminución de temperatura a presión constante hasta el punto 1', en el que el refrigerante se presenta como líquido subenfriado. Este punto se obtiene a partir de una disminución de 5°C de la temperatura de condensación, que es un dato fijado previamente a partir de la temperatura exterior.

### ➤ Obtención $h_{1'}$ : (salida del condensador)

La obtención de la entalpía en el punto 1' viene dada por la función:

Tamb °C	Tc °C	Pc bar	Pe bar	$h_{1'}$ (kJ/kg)
5	20	10,92	2,80	220,97
10	25	12,41	2,80	228,27
15	30	14,01	2,80	235,69
20	35	15,73	2,80	243,28
25	40	17,56	2,80	251,09
30	45	19,51	2,80	259,22
35	50	21,57	2,80	267,77

**Tabla 38.** Datos  $h_{1'}$  del R404A



**Figura 23.** Ajuste  $h_{1'}$  R404A a función polinómica

La diferencia de entalpía entre estos dos puntos será el calor que debe evacuar el condensador,  $q_{\text{cond}}$ .

La evolución del punto 1' al 2 es perfectamente isoentálpica, con la que la entalpía del punto 2 será igual a la del punto 1', y la presión vendrá dada por la expresión obtenida anteriormente imponiendo la temperatura de evaporación.

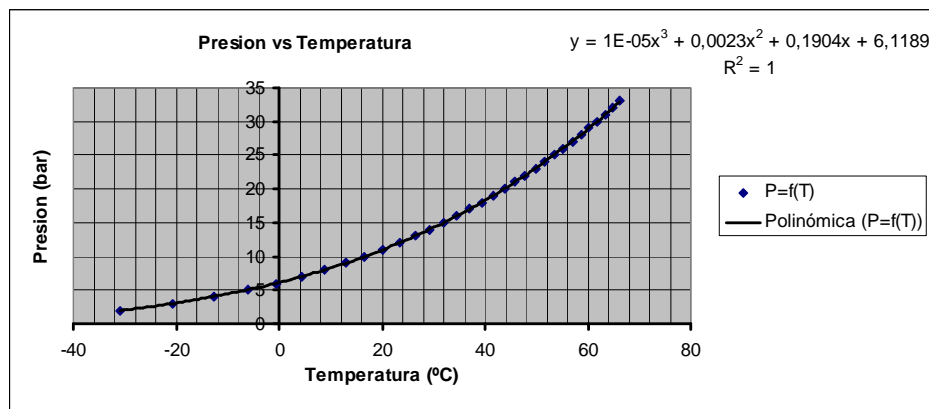
➤ **Rendimiento isentrópico:**

A partir de la gráfica p-T del refrigerante, trasladamos los resultados a una tabla de excel. Los límites se han elegido de tal forma que incluyan el rango de temperaturas de trabajo de la instalación.

p (bar)	T (sat) (°C)
2	-30,93
3	-20,62
4	-12,69
5	-6,15
6	-0,53
7	4,42
8	8,87
9	12,91
10	16,64
11	20,09
12	23,32
13	26,36
14	29,22
15	31,93
16	34,51
17	36,97
18	39,33
19	41,58
20	43,75
21	45,84
22	47,85
23	49,8

**Tabla 39.** Datos presión- temperatura del R404A

El rendimiento indicado será función de dos parámetros, el refrigerante y la relación de compresión, definida como la relación entre la presión de aspiración, que consideraremos 0.9 veces la presión de evaporación y la de descarga, 1.05 veces la de condensación. De este modo se incluyen las pérdidas de carga en los intercambiadores de calor. Para la realización de este proyecto se ha dispuesto únicamente de las gráficas para R22 (figura 11). Por simplicidad, asumiremos que los refrigerantes a estudio siguen el comportamiento del R22 en cuanto a rendimiento indicado en el compresor.



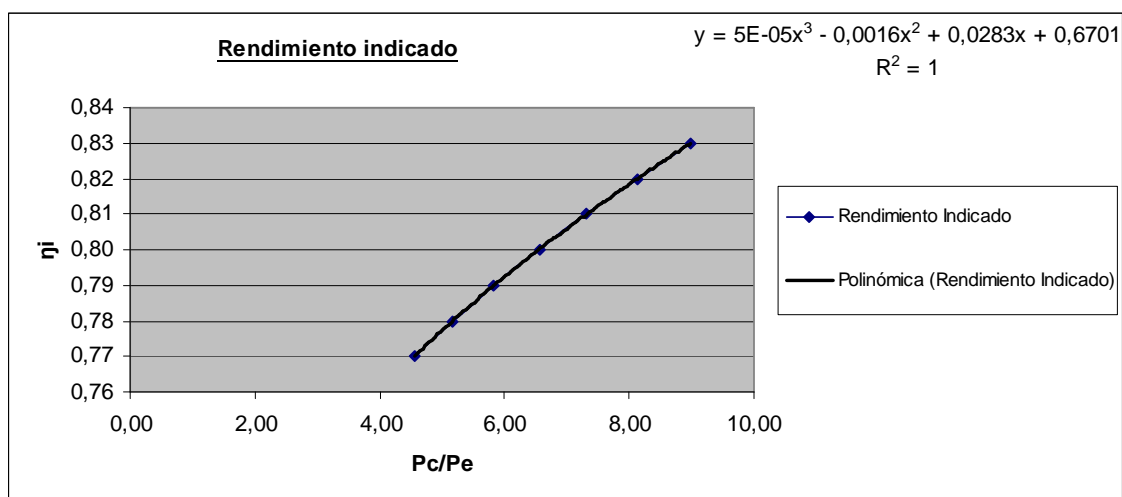
**Figura 24.** Ajuste Presión R404A a función polinómica

Para obtener la relación de compresión calculamos las presiones de evaporación y condensación introduciendo las temperaturas de evaporación (constante) y condensación respectivamente. A estos valores les aplicaremos los factores anteriores, para obtener las presiones de entrada y salida del compresor.

La función del rendimiento indicado en función de la relación de compresión se calculará obteniendo una serie de puntos de la gráfica citada anteriormente.

Tamb °C	Tc °C	Pc bar	Pe bar	Pc/Pe	r <sub>c</sub>	η <sub>i</sub>
5	20	10,92	2,8	3,90	4,55	0,77
10	25	12,41	2,8	4,43	5,17	0,78
15	30	14,01	2,8	5,00	5,84	0,79
20	35	15,73	2,8	5,62	6,55	0,80
25	40	17,56	2,8	6,27	7,32	0,81
30	45	19,51	2,8	6,97	8,13	0,82
35	50	21,57	2,8	7,70	8,99	0,83

**Tabla 40.** Datos Rendimiento Indicado del R404A

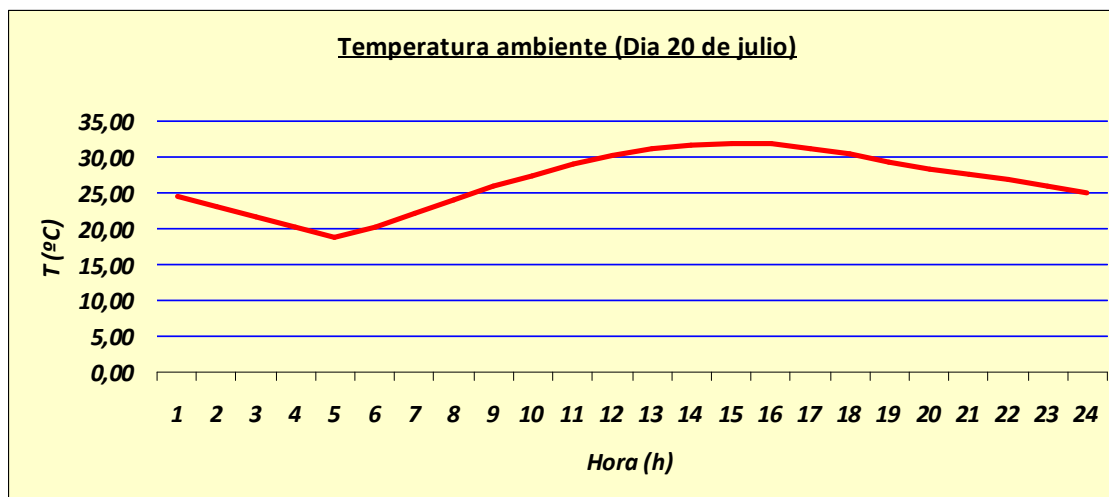


**Figura 25.** Ajuste curva rendimiento indicado R404A a función polinómica

En este caso, será una función cúbica la que se ajusta al comportamiento de la gráfica, a partir de la cual obtenemos h<sub>5</sub>.

## **5.2- SIMULACIÓN DÍA MÁS CALUROSO**

Los datos climatológicos nos indican que el día más caluroso del año, en la localidad donde esta ubicada nuestra cámara, fue el 20 de julio. La grafica de temperatura para este día es la siguiente:

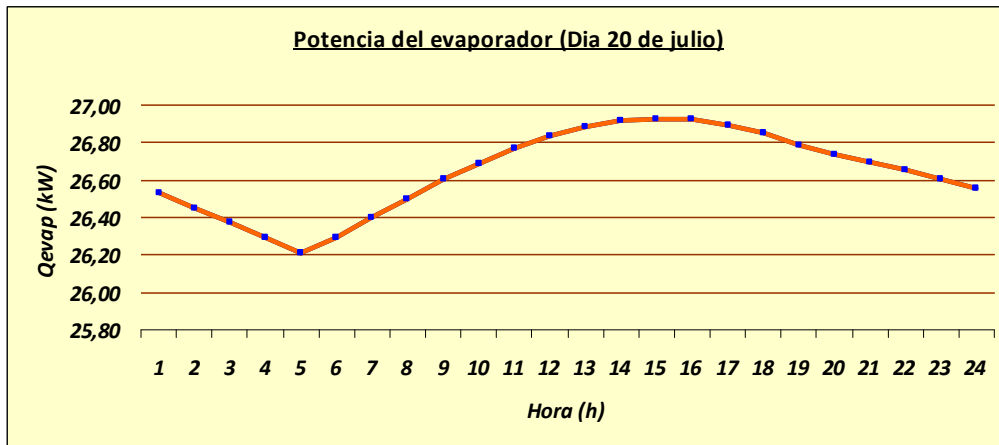


***Figura 26. Temperatura ambiente por hora día más caluroso***

En la misma obtenemos la Temperatura Máxima de trabajo que se sufrirá nuestra instalación con  $32^{\circ}\text{C}$  alas 16h.

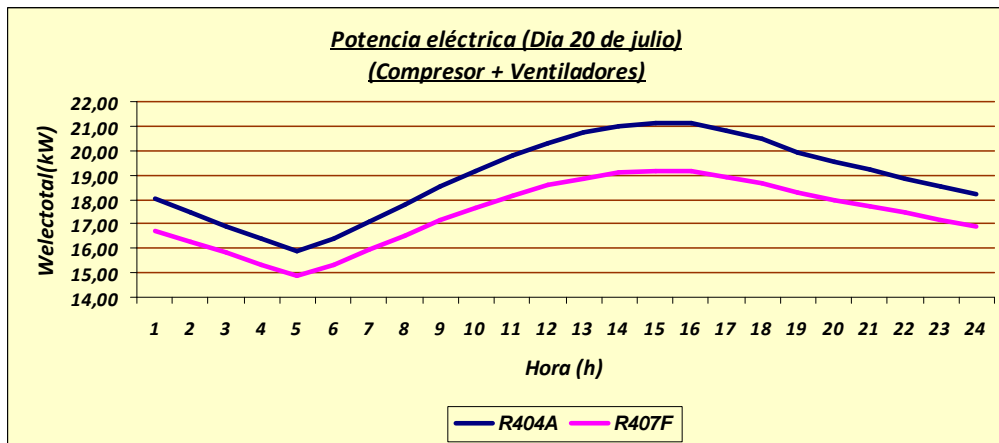
Con las temperaturas en este día más cálido, y para los dos refrigerantes, se representarán los siguientes parametros:

- i. Potencia evaporador
- ii. Potencia compresor
- iii. Potencia condensador
- iv. COP's
  1. Indicado
  2. Mecánico
  3. Eléctrico



**Figura 27.** Potencia evaporador día más caluroso con ambos refrigerantes

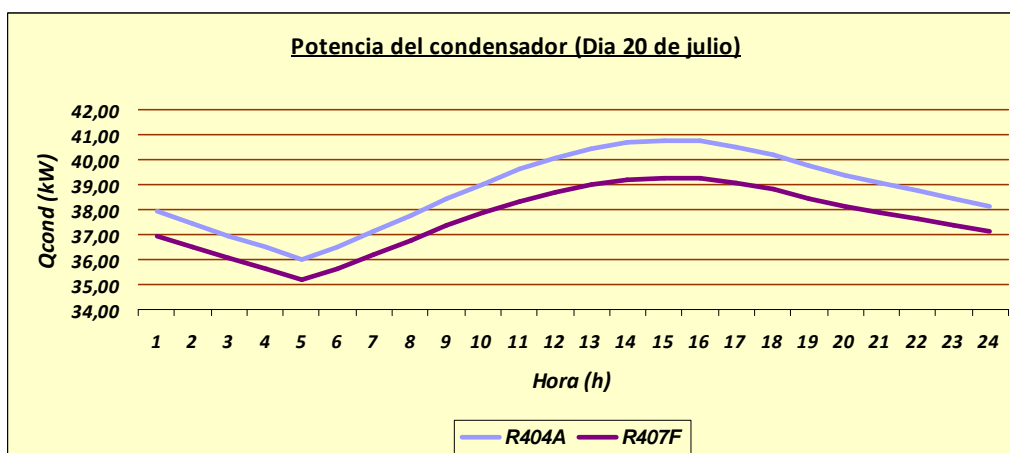
$$\text{Demanda}_{\text{diaria}} = 639,61 \text{ kWh}$$



**Figura 28.** Potencia eléctrica total día más caluroso con ambos refrigerantes

$$\text{R404A} - E_{\text{compdia}} = 453,20 \text{ kWh}$$

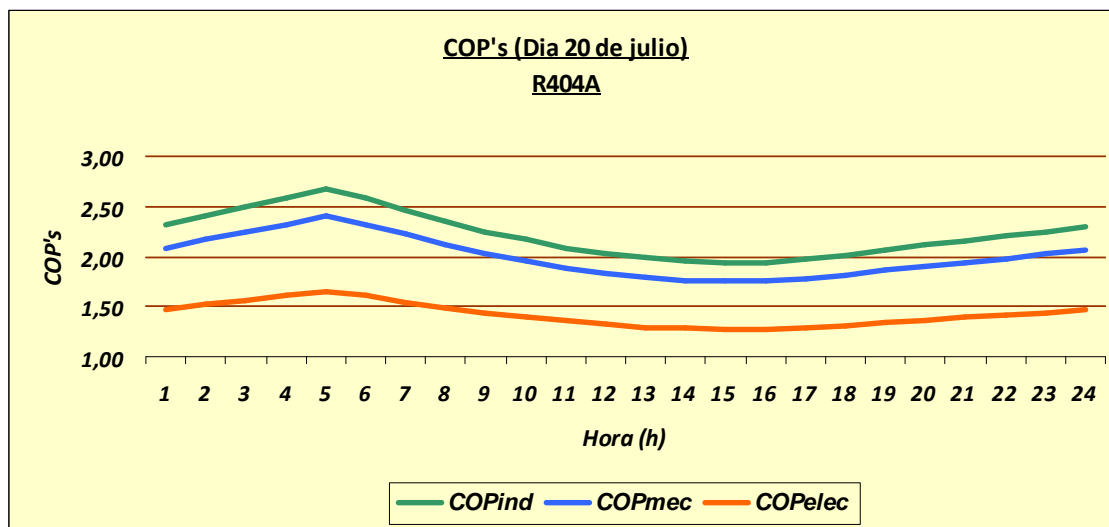
$$\text{R407F} - E_{\text{compdia}} = 417,71 \text{ kWh}$$



**Figura 29.** Potencia condensador día más caluroso con ambos refrigerantes

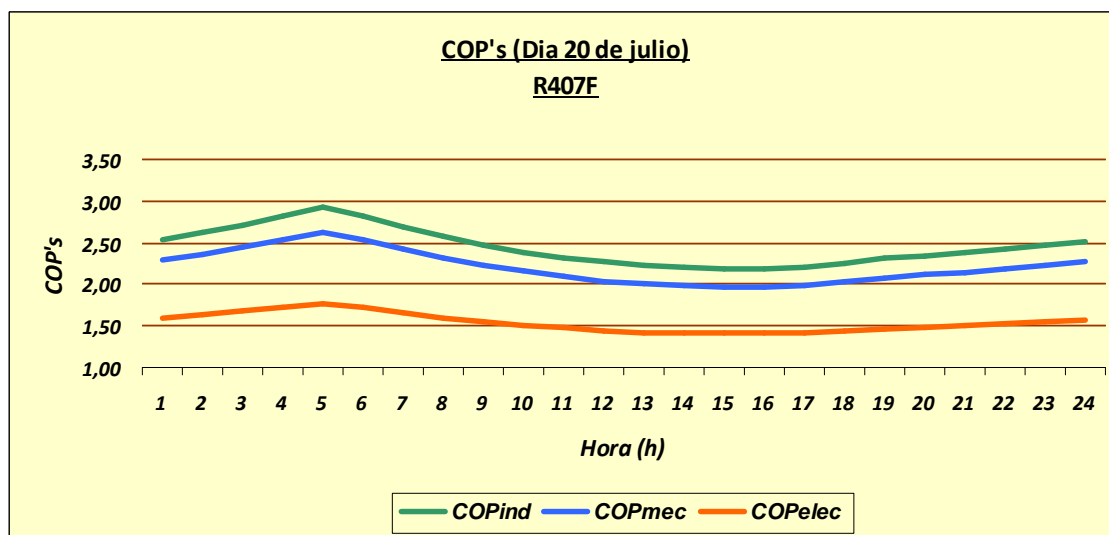
$$\text{R404A} - E_{\text{condia}} = 930,58 \text{ kWh}$$

$$\text{R407F} - E_{\text{condia}} = 902,36 \text{ kWh}$$



*Figura 30. COP's con R404A día más caluroso*

$$R404A - COP_{meddia} = 1,411$$

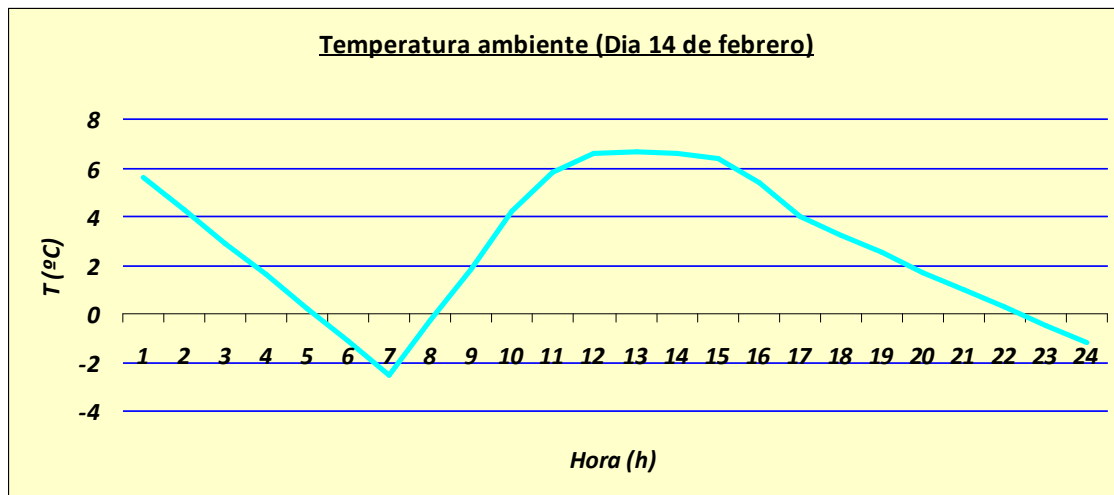


*Figura 31. COP's con R407F día más caluroso*

$$R407F - COP_{meddia} = 1,531$$

### 5.3- SIMULACIÓN DÍA MÁS FRÍO

Los datos climatológicos nos indican que el día más frío del año, en la localidad donde esta ubicada nuestra cámara, fue el 14 de febrero. La grafica de temperatura para este día es la siguiente:



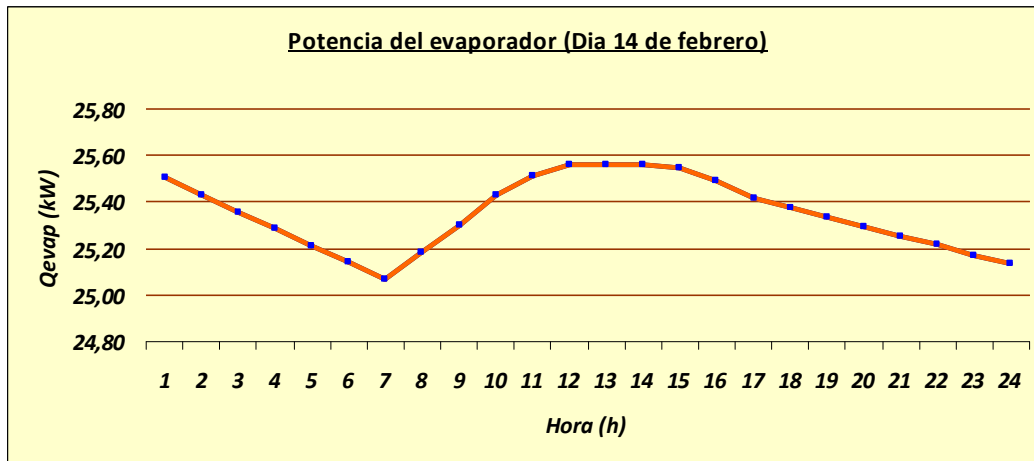
**Figura 32.** Temperatura ambiente por hora día más frío

En la misma obtenemos la Temperatura Mínima de trabajo que se sufrirá nuestra instalación con  $-2,5^{\circ}\text{C}$  a las 7h.

Con las temperaturas en este día más frío, y para los dos refrigerantes, se representarán los siguientes parametros:

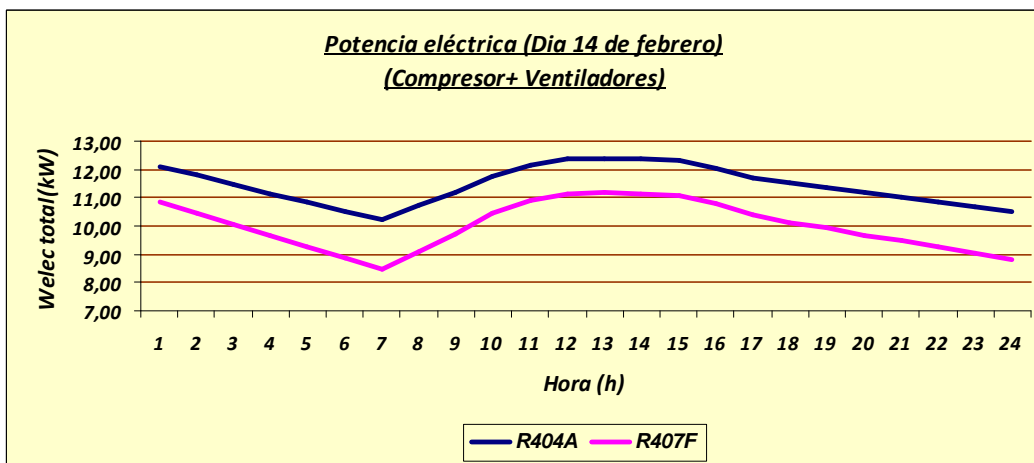
- v. Potencia evaporador
- vi. Potencia compresor
- vii. Potencia condensador
- viii. COP's
  - 1. Indicado
  - 2. Mecánico
  - 3. Eléctrico





**Figura 33.** Potencia evaporador día más frío con ambos refrigerantes

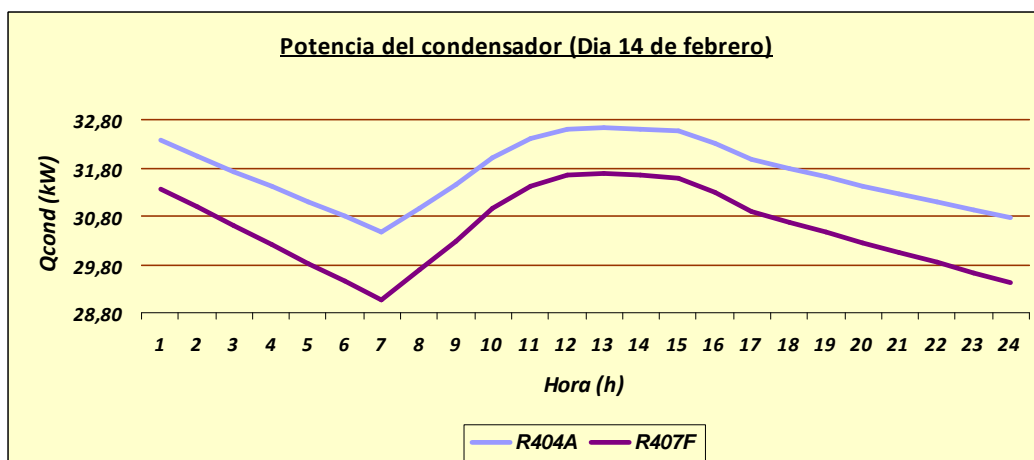
$$\text{Demanda}_{\text{diaria}} = 608,43 \text{ kWh}$$



**Figura 34.** Potencia eléctrica total día más frío con ambos refrigerantes

$$\text{R404A} - E_{\text{compdia}} = 274,18 \text{ kWh}$$

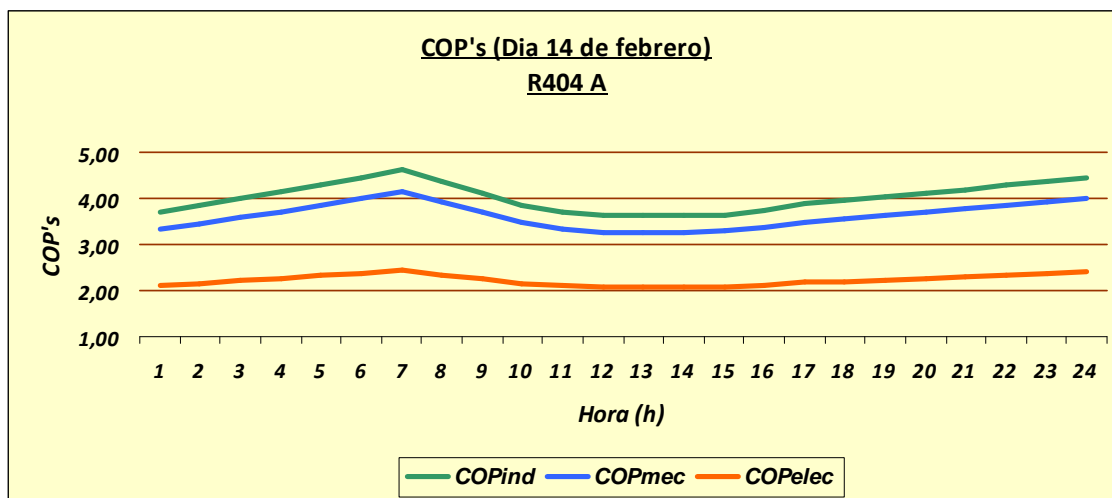
$$\text{R407F} - E_{\text{compdia}} = 239,77 \text{ kWh}$$



**Figura 35.** Potencia condensador día más frío con ambos refrigerantes

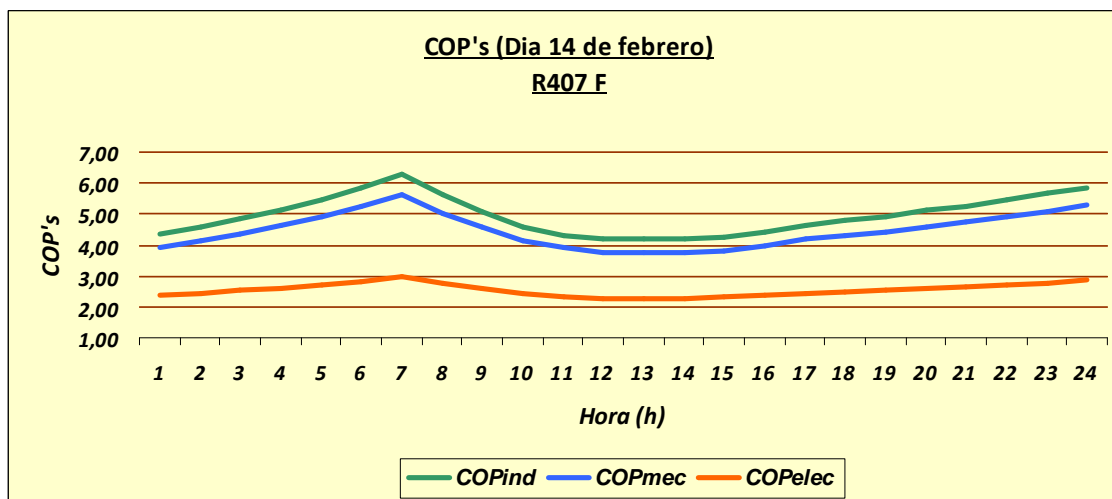
$$\text{R404A} - E_{\text{condia}} = 760,45 \text{ kWh}$$

$$\text{R407F} - E_{\text{condia}} = 733,08 \text{ kWh}$$



*Figura 36. COP's con R404A día más frío*

$$R404A - COP_{meddia} = 2,219$$



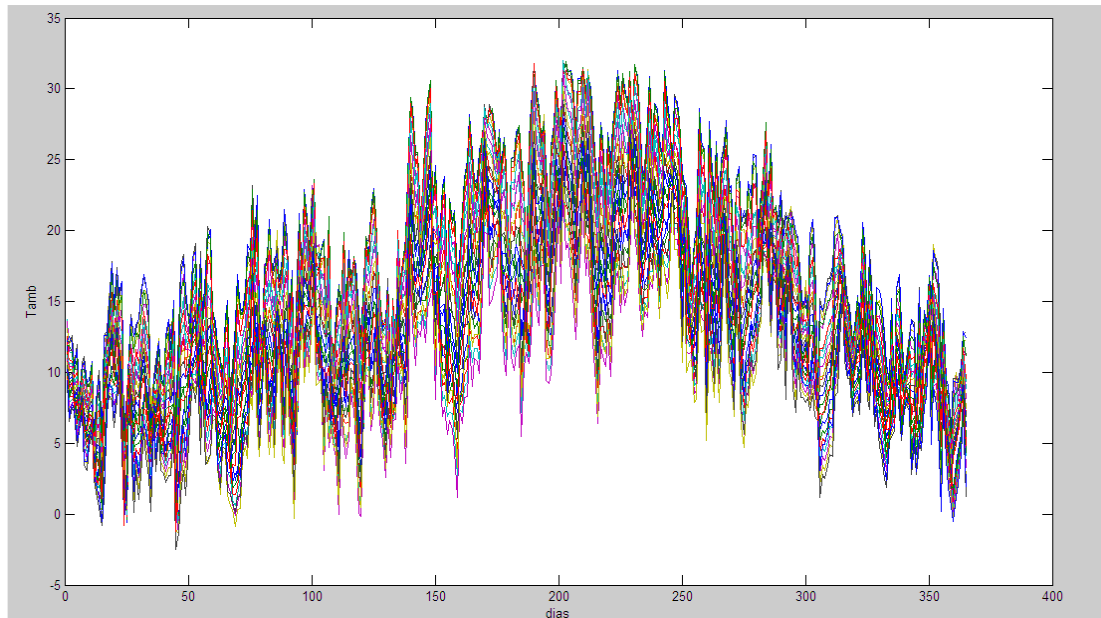
*Figura 37. COP's con R407F día más frío*

$$R407F - COP_{meddia} = 2,537$$

## 5.4- SIMULACIÓN ANUAL

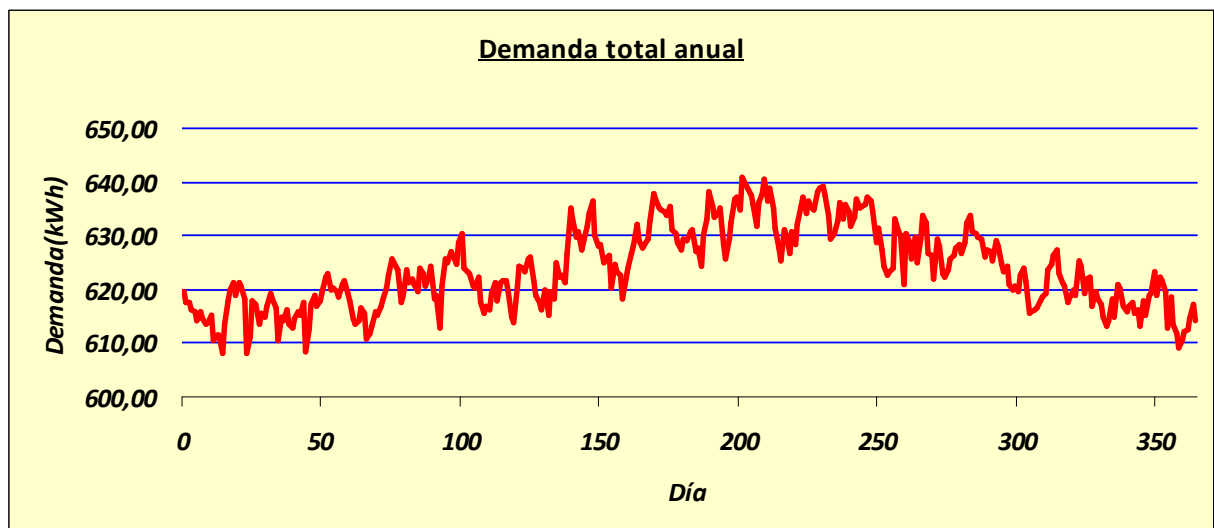
Para hacer simulaciones se ha empleado una base de datos climatológica, en la se incluye la temperatura. Esta base de datos nos da un valor de temperatura diaria hora a hora para la ciudad de emplazamiento de nuestra cámara.

Se ha extraído esa base de datos y se ha llevado a una hoja Excel. Con el apoyo de Matlab, se presenta la siguiente gráfica de evolución de la temperatura anual.



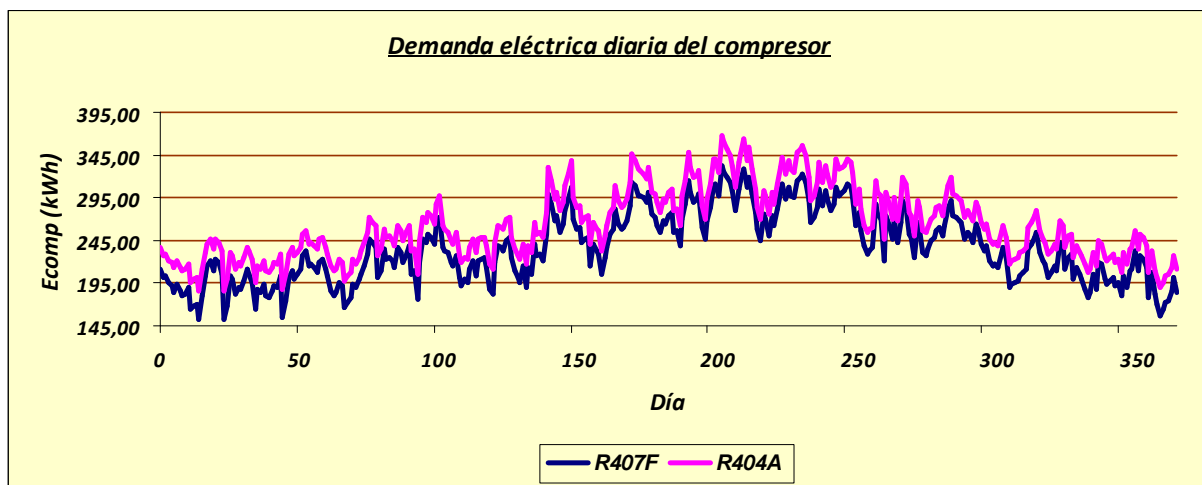
*Figura 38. Evolución anual de la temperatura*

Para el cálculo de la demanda total anual, con la ayuda de Matlab se genera una base de datos y se obtiene la siguiente gráfica que refleja la evolución de la carga térmica a lo largo del año.



*Figura 39. Demanda total anual*

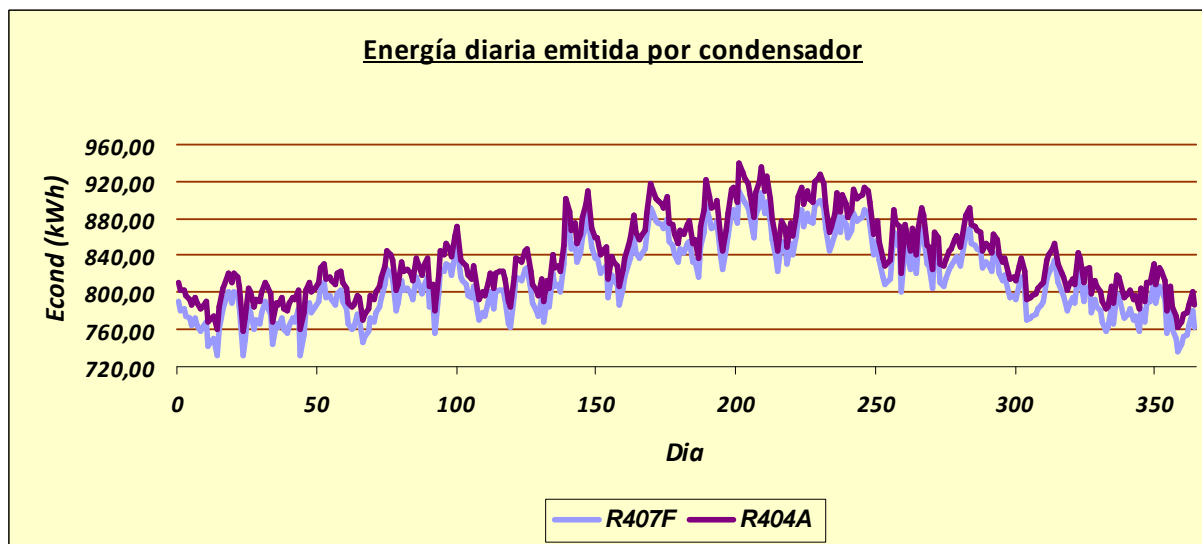
$$\text{Demanda}_{\text{total}} = 227,68 \text{ MWh}$$



**Figura 40.** Demanda eléctrica diaria compresor para ambos refrigerantes

**R404A -  $E_{\text{comptotal}} = 96,04 \text{ MWh}$**

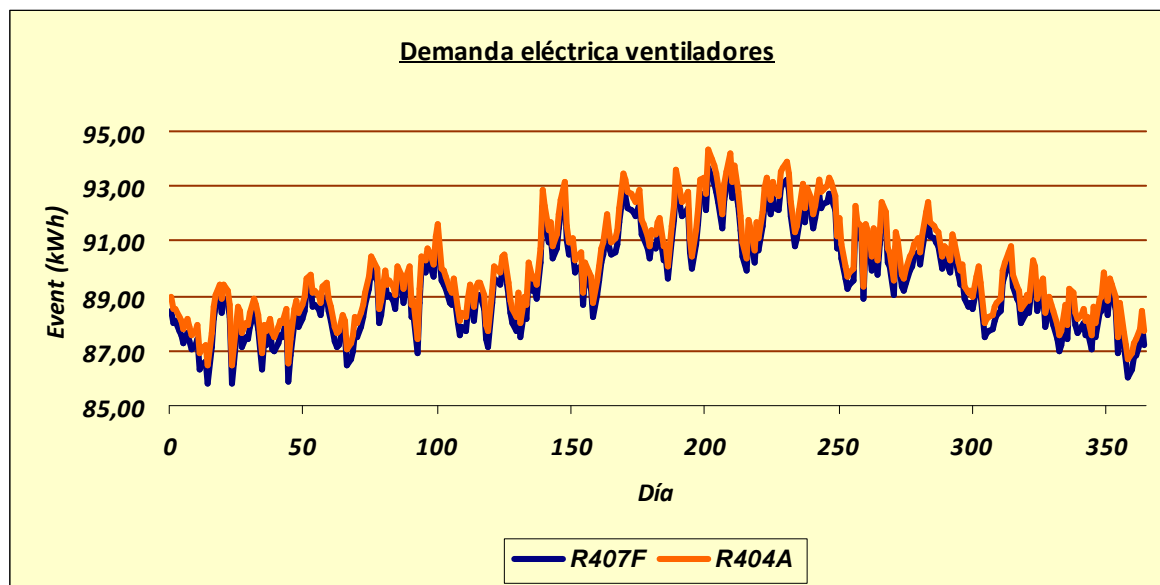
**R407F -  $E_{\text{comptotal}} = 86,23 \text{ MWh}$**



**Figura 41.** Energía diaria emitida condensador para ambos refrigerantes

**R404A -  $E_{\text{condtotal}} = 305,48 \text{ MWh}$**

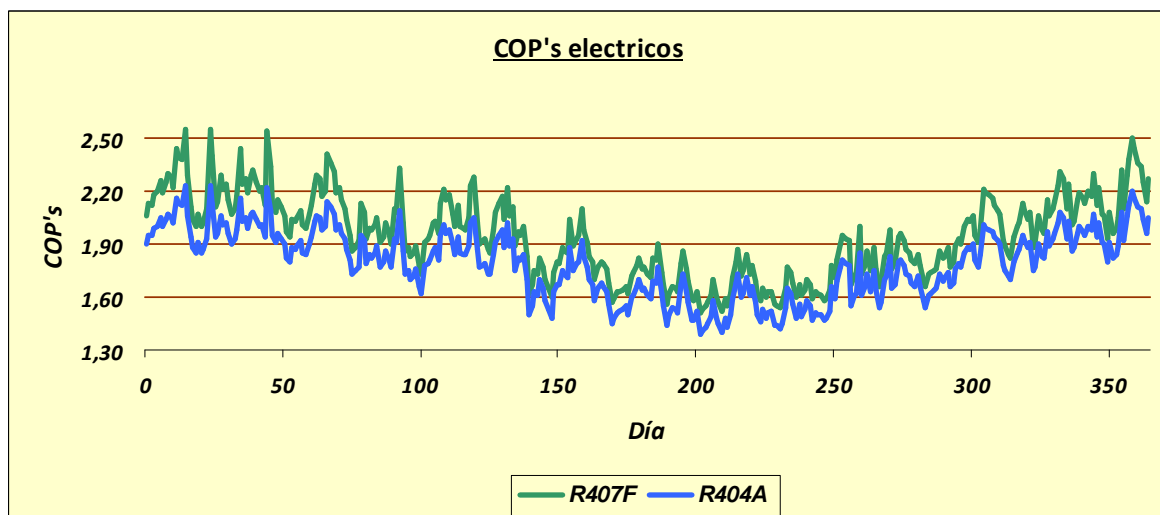
**R407F -  $E_{\text{condtotal}} = 297,53 \text{ MWh}$**



*Figura 42. Energía diaria emitida ventiladores para ambos refrigerantes*

**R404A –  $E_{\text{venttotal}} = 32,86 \text{ MWh}$**

**R407F –  $E_{\text{venttotal}} = 32,61 \text{ MWh}$**



*Figura 43. COP's eléctricos diarios para ambos refrigerantes*

**R404A –  $\text{COP}_{\text{medio anual}} = 1,766$**

**R407F –  $\text{COP}_{\text{medio anual}} = 1,915$**

## 5.5- ELECCION COMPONENTES INSTALACIÓN FRIGORÍFICA

### 5.5.1. – Compresor

Normalmente, las instalaciones que trabajan con potencias medias y altas, lo hacen con compresores semiherméticos, debido al inferior coste y dimensiones respecto a los compresores de tornillo.

La casa alemana Bitzer, es una de las más importantes fabricantes de compresores a nivel internacional. La selección es un compresor de semihermético, que funciona en una sola etapa de compresión.

El mismo fabricante pone a nuestra disposición un programa informático (Bitzer software versión 6.3) para así facilitar la selección del compresor. Deberemos introducir en el menú principal el tipo de máquina que queremos. En nuestro caso, compresor de pistón semihermético. En el menú de selección introduciremos los datos referentes al ciclo que usaremos, es decir: fluido frigorífico de trabajo, potencia frigorífica o temperatura de diseño de trabajo (*Tabla 39*). Una vez rellenado todos los campos, presionamos sobre el icono “calcular” y el programa nos mostrará en pantalla las características técnicas de los compresores que más se ajustan a nuestras necesidades.

A continuación aparecen las características de los dos compresores que más se ajustan, según es software. En el caso del compresor, no hace falta la elección del compresor de mayor potencia, pues el factor de simultaneidad y el coeficiente de seguridad, nos garantiza que la elección del primer compresor es la adecuada.

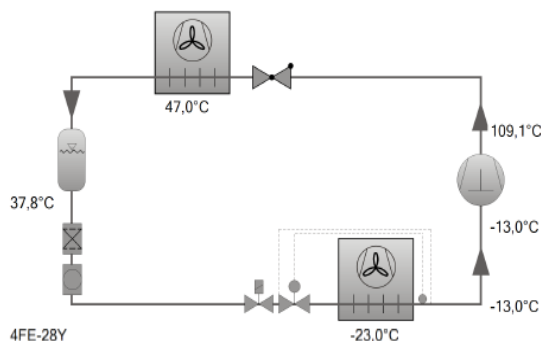
#### Selección del Compresor: Compresores de Pistones Semi-herméticos

##### Valores de entrada

Potencia frigorífica	27,0 kW
Modo	Refrigeración y Aire acondicionado
Refrigerante	R407F
Temperatura de referencia	Temp. en el punto de rocío
Temp. de evaporación	-23,00 °C
Temp. de condensación	47,0 °C
Líquido subenfriado (después condensador)	5,00 K
Recalentamiento de gas aspirado	10,00 K
Modo de funcionamiento	Auto
Alimentación eléctrica	400V-3-50Hz
Regulador de capacidad	100%
Recalentamiento útil	100%

##### Resultado

Compresor	4FE-28Y-40P	6HE-28Y-40P
Escalones de capacidad	100%	100%
Potencia frigorífica	26,4 kW	27,9 kW
Potencia frigorífica *	27,0 kW	28,5 kW
Potencia en el evap.	26,4 kW	27,9 kW
Potencia absorbida	15,86 kW	16,80 kW
Corriente (400V)	30,0 A	31,3 A
Gama de tensiones	380-420V	380-420V
Capacidad del condensador	42,2 kW	44,7 kW
COP/EER	1,66	1,66
COP/EER *	1,70	1,70
Caudal másico	612 kg/h	647 kg/h
Modo de funcionamiento	Estándar	Estándar
Temp. Gas de descarga no enfriado	109,1 °C	109,3 °C

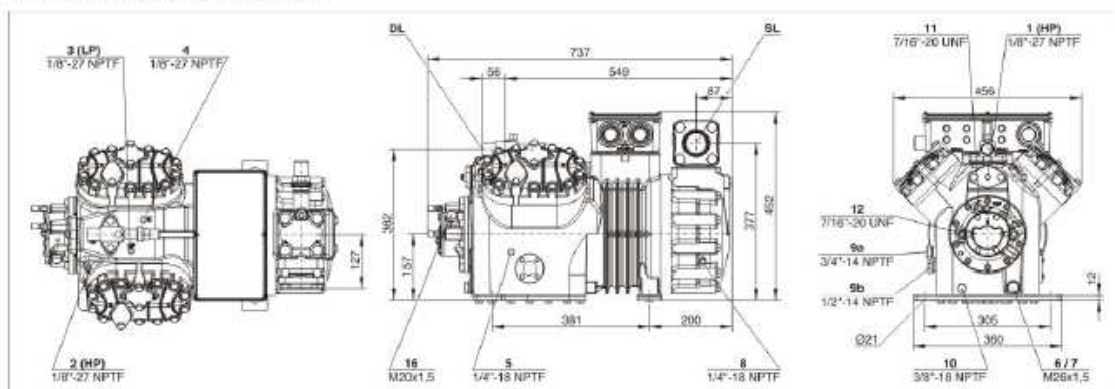


**Tabla 41.** Selección de compresor

Por este motivo, la elección es el modelo 4FE-28Y-40P

### Datos técnicos: 4FE-28Y

#### Dimensiones y conexiones



#### Datos técnicos

##### Informaciones técnicas

Volumen desplazado (1450 rpm a 50 Hz)	101,8 m³/h
Volumen desplazado (1750 rpm a 60Hz)	121,3 m³/h
Nº de cilindros x diámetro x carrera	4 x 82 mm x 55 mm
Peso	196 kg
Presión máxima (BP/AP)	19 / 32 bar
Conexión línea aspiración	54 mm - 2 1/8"
Conexión línea descarga	28 mm - 1 1/8"
Tipo de aceite R134a/R407C/R404A/R507A/R407A	tc<70°C: BSE32(Standard) / tc>70°C: BSE55 (Option)
Aceite para R22 (R12/R502)	B5.2(Option)

##### Informaciones motor

Versión del motor	2
Tensión del motor (otro bajo demanda)	380-420V -50Hz
Intensidad máxima en funcionamiento	52.8 A
Relación de bobinado	50/50
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	141.0 A Y / 233.0 A YY
Potencia máx. absorbida	31.0 kW

##### Estándar de entrega

Protección motor	SE-B2
Clase de protección	IP54 (Standard), IP66 (Option)
Antivibradores	Standard
Carga de aceite	4.50 dm³

##### Opciones disponibles

Sensor de temperatura del gas comprimido	Option
Arranque en vacío	Option
Regulación de capacidad	100-50% (Option)
Regulación de capacidad - en continuo	100-10% (Option)
Ventilador adicional	Option
Sistema CIC	Option
Válvula de servicio aceite	Option
Calefactor de Cáster	140 W (Option)
Control de presión de aceite	MP54 (Option), Delta P2

##### Nivel sonoro medido

Potencia sonora (-10°C / 45°C)	81,0 dB(A) @50Hz
Potencia sonora (-35°C / 40°C)	86,5 dB(A) @50Hz
Presión sonora @ 1m (-10°C / 45°C)	73 dB(A) @50Hz
Presión sonora @ 1m (-35°C / 40°C)	78,5 dB(A) @50Hz
Potencia sonora (-10°C / 45°C) R134a	79 dB(A) @50Hz
Presión sonora @ 1m (-10°C / 45°C) R134a	71 dB(A) @50Hz

**Tabla 42.** Datos técnicos compresor seleccionado [8]

El catálogo 2014 del distribuidor de maquinaria y accesorios para instalaciones frigoríficas Bitzer, nos aportará algunos datos adicionales como es el precio de los elementos del compresor: separador de aceite, el motor del compresor, diferentes válvulas...



### 5.5.2. – Evaporador

Para proceder a la elección del tipo de evaporador entre los disponibles que podemos encontrar en las tablas que nos proporcionan los fabricantes, debemos de tener en cuenta las condiciones en las que trabajará. Los datos básicos necesarios, serán:

- Carga térmica de la cámara.
- Temperatura de evaporación del refrigerante ( $T_{\text{evap}} = -23^{\circ}\text{C}$ )
- Salto térmico en el evaporador ( $T = 5^{\circ}\text{C}$ )

La forma práctica de proceder, es la siguiente:

- Los catálogos nos proporcionan la potencia frigorífica en unas condiciones de temperatura de evaporación del refrigerante y de  $\Delta t$  nominales.

Los fabricantes nos proporcionan tablas con factores de corrección, que podemos utilizar cuando los datos que nos ofrecen para la selección no se corresponden con los nominales de proyecto. Los factores de corrección más usuales tienen a ver con la utilización de otro tipo de fluido frigorífico y con una diferencia de temperaturas diferente.

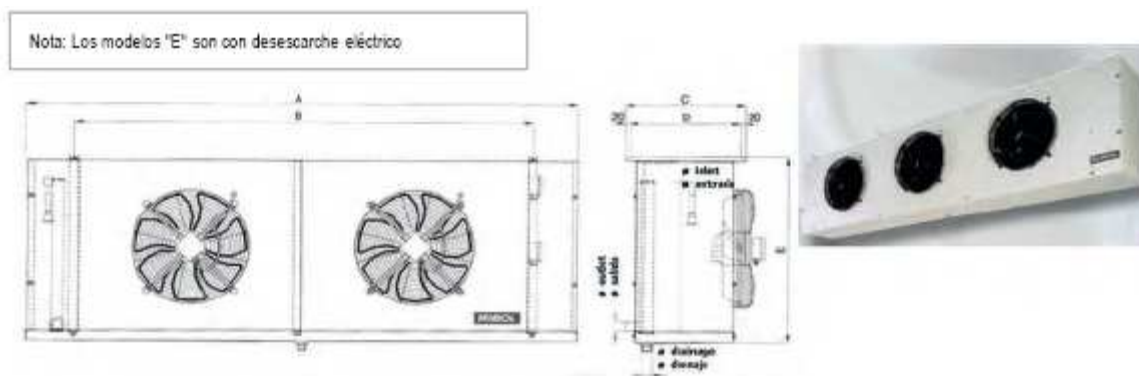
El evaporador seleccionado será de circulación forzada de aire, del tipo dryex y con un sistema de desescarche eléctrico. La casa Kobol-Koxka pone al alcance de sus clientes una amplia información para la selección de los evaporadores de nuestra instalación. En función de la potencia, el precio u otros factores, elegiremos el que más nos convenga, que en nuestro caso será el **ECC-570E**.

#### ECC series / Serie ECC

Fin spacing / Paso de aletas: 7 mm

R-404 A														
MODEL MODELO	CAPACITY CAPACIDAD	ENV 328 COND.3	T <sub>ev</sub> = -5°C		T <sub>wh</sub> = -5°C		T <sub>ev</sub> = -25°C		T <sub>wh</sub> = -25°C		SURFACE SUPERFICIE	AIR FLOW CAUDAL DE AIRE	AIR THROW TIRADA DE AIRE	WEIGHT PESO
			TD = 5	TD = 7	TD = 8	TD = 10	TD = 5	TD = 7	TD = 8	TD = 10				
ECC-121	W	9,270	7,860	11,846	14,460	19,280	7,230	10,381	12,208	17,547	59.64	11,700	27	113
	kcal/h		6,760	10,188	12,436	16,581	6,217	8,928	10,499	15,090				
ECC-130	W	10,730	9,099	13,713	16,739	22,319	8,370	12,018	14,132	20,313	57.96	18,600	42	138
	kcal/h		7,825	11,793	14,396	19,194	7,198	10,336	12,154	17,469				
ECC-182	W	13,544	11,485	17,309	21,128	28,170	10,564	15,169	17,837	25,638	87.08	17,700	40	155
	kcal/h		9,877	14,886	18,170	24,227	9,085	13,045	15,340	22,049				
ECC-231	W	19,145	16,235	24,467	29,865	39,821	14,933	21,441	25,213	36,240	119.47	21,700	43	197
	kcal/h		13,962	21,041	25,684	34,246	12,842	18,440	21,683	31,166				
ECC-268	W	22,410	19,004	28,641	34,961	46,613	17,480	25,099	29,514	42,423	130.68	26,700	55	229
	kcal/h		16,344	24,631	30,066	40,087	15,033	21,585	25,382	36,484				
ECC-357	W	28,140	23,862	35,963	43,898	58,531	21,949	31,516	37,060	53,269	179.16	32,500	53	291
	kcal/h		20,522	30,928	37,752	50,337	18,876	27,104	31,872	45,811				
ECC-402	W	28,579	24,235	36,524	44,583	59,444	22,292	32,008	37,639	55,053	191.61	53,000	63	386
	kcal/h		20,842	31,410	38,342	51,122	19,171	27,527	32,369	47,345				
ECC-570	W	42,407	35,961	54,196	66,154	88,206	33,078	47,496	55,850	80,276	287.40	52,000	61	443
	kcal/h		30,926	46,609	56,893	75,857	28,447	40,846	48,031	69,027				





MODEL MODELO		FANS VENTILADORES		POWER & CURRENT CONSUMPTION CONSUMO ENERGÉTICO Y DE CORRIENTE			DIMENSIONS (mm) DIMENSIONES (mm)					INLET ENTRADA	OUTLET SALIDA	ELECTRIC HEATERS RESISTENCIA	
		Num.	Ø (mm)	W	230 V (Δ)	400 V	A	B	C	D	E	Ø	Ø	W	A
ECR-163	ECC-121	2	450	1,260	4.2	2.4	2,040	1,640	508	460	730	5/8"	1 3/8"	6,525	11.4
ECR-183	ECC-130	2	500	1,720	5	3.5	2,440	2,040	525	485	840	5/8"	1 3/8"	9,548	15.1
ECR-246	ECC-182	2	500	1,720	5	3.5	2,440	2,040	525	485	840	5/8"	1 3/8"	9,548	15.1
	ECC-231	2	630	1,480	4.8	2.8	2,840	2,480	626	580	850	7/8"	1 3/8"	11,215	17.4
	ECC-260	2	500	2,580	8	5.3	3,440	3,040	525	485	840	7/8"	1 5/8"	14,057	21.9
ECR-290		3	500	2,580	8	5.3	3,440	3,040	525	485	840	7/8"	1 5/8"	14,057	21.9
ECR-354		3	630	2,160	7.2	4.2	4,040	3,640	580	540	950	7/8"	1 5/8"	16,292	25.7
ECR-468	ECC-357	3	630	2,160	7.2	4.2	4,040	3,640	580	540	950	1 1/8"-1 7/8"	2 1/8"-1 5/8"	16,292	25.7
ECR-572	ECC-402	3	630	6,900	20.1	11.6	4,640	4,240	580	540	1,280	1 1/8"	2 1/8"	25,208	42.4
ECR-753	ECC-570	3	630	6,900	20.1	11.6	4,640	4,240	580	540	1,280	1 3/8"	2 1/8"	25,208	42.4

**Tabla 43.** Datos técnicos evaporador seleccionado [9]

### 5.5.3. – Condensador

El sistema utilizado para la condensación del fluido refrigerante es con aire como medio de extracción, por las ventajas que presenta respecto el otro sistema.

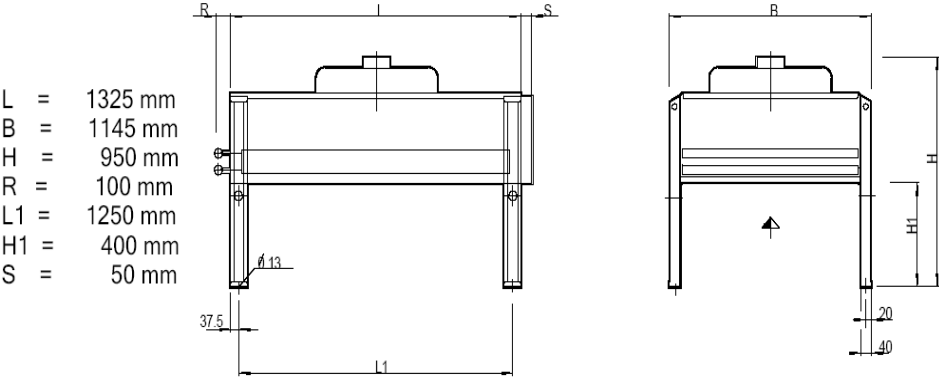
La casa alemana Güntner es una de las principales fabricantes de intercambiadores para aplicaciones en la refrigeración. Güntner pone al alcance de sus clientes una aplicación informática (GPC.AM 2013) que será utilizada para la selección del condensador de nuestra instalación. Sólo será necesario introducir los datos correspondientes del condensador en el menú de selección, como: temperaturas de trabajo o potencia frigorífica, pulsar sobre "ok" y obtenemos un listado de condensadores. En función de la potencia, el precio u otros factores, elegiremos el que más nos convenga.

La potencia de condensación viene dada en la tabla de selección del compresor. Las condiciones de entrada del aire corresponden a las condiciones exteriores de diseño, ya que el condensador estará situado encima de la cubierta. El sistema utilizado para la condensación del refrigerante, es una condensación por aire. Este método presenta las siguientes ventajas respecto los refrigerados por agua:

- El consumo de agua es nulo. Muy importante, ya que el agua es un bien escaso, y tiene un coste elevado.
- La eficiencia del condensador es independiente del grado de humedad del aire.
- Necesita muy poco mantenimiento, debido a su rápida y fácil limpieza.

Como inconvenientes, podemos citar los siguientes:

- Elevada temperatura de condensación. Debe de estar entre los 12 a 16 °C por encima de la temperatura exterior. Motivo que dependiendo del lugar de la explotación (lugares cálidos), podemos obtener una disminución del rendimiento de la instalación.
- El coeficiente de transmisión es bajo, ya que el calor específico del aire es bajo. Esto implica un área de transferencia y de dimensiones mayores.

<b>Condensador</b>		<b>GVH 065.1C/1-NL.M</b>	
<b>Capacidad:</b>	40.0 kW	<b>Refrigerante:</b>	<b>R407F</b>
Capacidad por dif. de temp.:	3.44 kW/K	Temp. del gas caliente:	77.0 °C
Caudal de aire:	16400 m³/h	Inicio de condensación:	43.6 °C
Entrada del aire:	32.0 °C	Salida de condensación:	37.3 °C
Altura de instalación:	0 m	Caudal de gas caliente:	9.14 m³/h
Ventiladores:	1 Unidad(es) 3~460V 60HzY/(--)	Diámetro del ventilador:	650 mm
Datos por motor (datos nominales):		Nivel de presión sonora:	58 dB(A)
Revoluciones:	1600 min-1 / (--)	a una distancia de:	10.0 m
Capacidad:	3.10 kW, 3 hp mecánico		
Corriente:	5.40 A		
Caja:	Acero galvanizado, gris claro	Tubos intercambiador:	Cobre <sup>(1)</sup>
Superf. de intercambio:	96.3 m²	Aletas:	Aluminio <sup>(1)</sup>
Volumen de tubos:	16.5 l	Conexiones por cada aparato:	
Paso de aleta:	2.20 mm	Entrada:	1 1/8 in
Número de pasos:	20	Conexión de salida:	1 1/8 in
Peso vacío:	123 kg <sup>(2)</sup>	Distribuciones:	8
Presión de servicio máxima:	30.8 bar		
<b>Dimensiones:</b>			
 <p> L = 1325 mm  B = 1145 mm  H = 950 mm  R = 100 mm  L1 = 1250 mm  H1 = 400 mm  S = 50 mm </p> <p>Atención: ¡Dibujo y dimensiones pueden variar dependiendo de los accesorios incluidos!</p>			

**Tabla 44.** Datos técnicos condensador seleccionado

## CAPITULO 6: EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL

---



## **6.1.-INTRODUCCIÓN**

En este apartado se realiza un estudio del impacto ambiental debido al funcionamiento del sistema de refrigeración a lo largo de un año. De este análisis se pretenden extraer conclusiones acerca de las consecuencias medioambientales debido a las emisiones de contaminantes de la instalación.

Los gases emitidos por el sistema serán distintos en función del refrigerante empleado. Como se indicó con anterioridad, en este proyecto se ha utilizado como refrigerante el denominado R-407F. Englobado en los refrigerantes de nueva generación se caracteriza por no tener cloro en su composición química, además de ser uno de los sustitutos del R404A, no siendo dañino para la capa de ozono.

La principal causa del impacto medioambiental será por tanto la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El aumento excesivo de este gas al ser lanzado artificialmente a la atmósfera, en grandes cantidades, aunque no tiene un efecto inmediato sobre el medio ambiente, colabora aumentando el conocido Efecto Invernadero. Este hecho hace que se altere el equilibrio térmico, contribuyendo al calentamiento global de la superficie terrestre.

Para realizar el estudio del impacto ambiental se tendrán en cuenta tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> directas, causas directamente por el refrigerante fugado empleado en la instalación, como las emisiones indirectas, debidas al funcionamiento de la instalación. Denominadas Potencial de Efecto Invernadero Directo (PEID) e Indirecto (PEII) respectivamente. Este último procede del CO<sub>2</sub> que se genera al quemar el combustible necesario para obtener la electricidad que pone en marcha el sistema durante su vida útil.

Otro aspecto a destacar en el estudio es el efecto acústico, la presión sonora de la instalación provocada por el funcionamiento de la cámara de congelado como consecuencia de los diferentes elementos móviles que forman el sistema de refrigeración. Este hecho si tiene un efecto inmediato sobre las personas, siendo sensibles al ruido que pueda ser emitido por el sistema.

El impacto acústico no será sometido a estudio, sin embargo en los datos técnicos de los equipos seleccionados se muestran una serie de especificaciones acerca de la presión sonora tanto para las unidades interiores como para la exterior.

Cabe destacar, para concluir, que al tratarse de condensador aire-aire la instalación no contribuye al efecto de formación de legionella, como podría ocurrir en sistemas de condensación por agua (Torres de Refrigeración). Los siguientes apartados permitirán extraer una conclusión acerca de la cantidad de CO<sub>2</sub> debida a la instalación, siendo el principal contaminante emitido por el sistema de refrigeración.

## **6.2.-POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID)**

En este punto se realizará el cálculo de la cantidad de CO<sub>2</sub> que se emitirá a la atmosfera de forma directa, debido al refrigerante empleado en la instalación. Se determinará mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$PEID = (peid) \cdot f \cdot C_R \cdot N \quad [Ec. 35]$$

Siendo:

- (peid) Potencial de Efecto Invernadero Directo del refrigerante por unidad de masa.
- f (%/año) el porcentaje de refrigerante que anualmente se fuga de la instalación.
- $C_R$  la carga de refrigerante que hay en la instalación. ( $\text{Kg}_{\text{Refrigerante}}$ )
- N el número de años de funcionamiento de la instalación. (vida)

Considerando un valor para el factor de fugas, tratándose de una instalación pequeña destinada a cámara de congelado, de  $f = 15\%$ .

Para el compresor empleado en el proyecto, de pequeño tamaño, se toma como aproximación introducir 1 Kg de refrigerante por cada kW, por lo que se define la carga de refrigerante para una instalación pequeña como:

$$C_R = 1 \text{ Kg}_{\text{Refrigerante}} / \text{kW} \cdot W_{\text{elec}} \quad [\text{Ec. 36}]$$

Por tanto, la cantidad de  $\text{CO}_2$  equivalente emitida de forma directa en un año:

	<b>R404A</b>	<b>R407F</b>
peid	3748	1705
f	0,15	0,15
$C_R$	17,108	15,185
N	1	1
<b>PEID anual</b> (Kg equivalente $\text{CO}_2$ )	<b>9618,12</b>	<b>3883,56</b>

**Tabla 45.** PEID anual para cada refrigerante

### **6.3.-POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII)**

De manera indirecta, el sistema emitirá una cierta cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera, producido al quemar el combustible fósil necesario para generar la electricidad que consume la instalación de compresión mecánica. Este potencial se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PEII = (peii) \cdot (W_{\text{elec}} + W_{\text{equipos auxiliares}}) \cdot n \cdot N \quad [\text{Ec. 37}]$$

Siendo:

- (peii) la masa de  $\text{CO}_2$  vertida a la atmósfera por kWh producido ( $\text{KgCO}_2/\text{kWhe}$ ).
- $W_{\text{elec}}$  la potencia eléctrica del compresor (kW).
- $W_{\text{equipos auxiliares}}$ : potencia ventiladores compresor y evaporador (kW).
- n las horas de funcionamiento de la instalación
- N el número de años de funcionamiento de la instalación

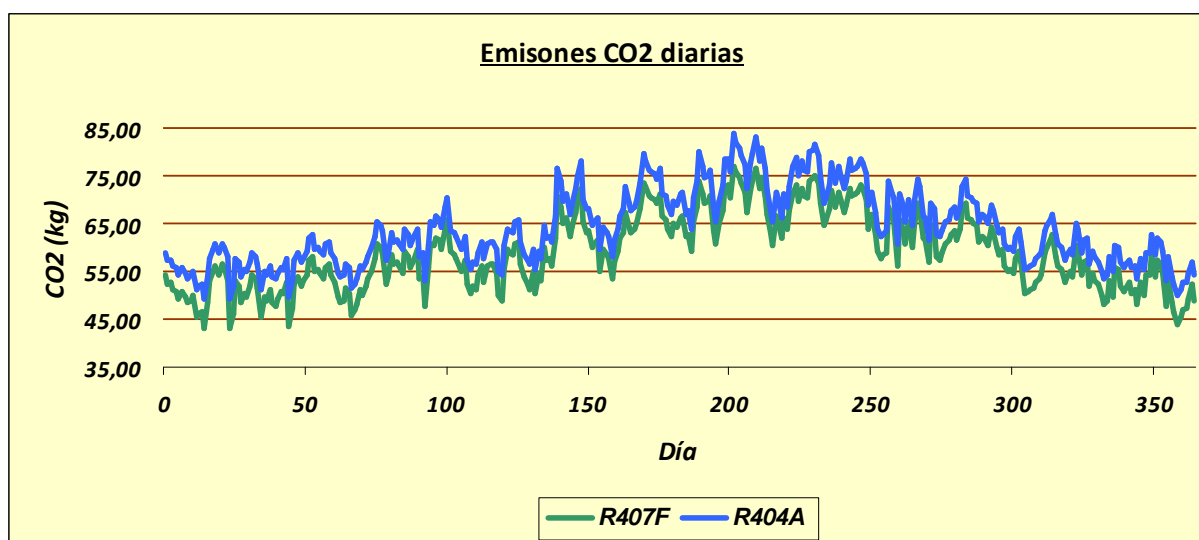
Conocidos los parámetros del sistema de refrigeración, de apartados anteriores, así como su funcionamiento a lo largo del año, las emisiones diarias de CO<sub>2</sub> se calcularán mediante la simulación en el programa Matlab. Para llevar a cabo esta simulación y determinar las emisiones producidas de forma indirecta por el consumo de electricidad será necesario definir un ratio medio de emisiones de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, por cada kilowatio hora eléctrico (kWhe).

#### FACTORES DE EMISIÓN DE LA ENERGÍA

FUENTE ENERGÉTICA	FACTOR DE EMISIÓN
Electricidad (kWh)	181 g CO <sub>2</sub> /kWh <sup>50</sup>

**Tabla 46.** Valor de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas debido al consumo de electricidad

Este factor, se obtiene a partir del cálculo de la OCCC con los últimos datos disponibles (*Observatorio de la electricidad*). Este es el mix peninsular que tiene en cuenta las pérdidas en transporte y distribución, y el consumo del sector energético.



**Figura 44.** Evolución de la masa total CO<sub>2</sub> emitido por refrigerante

El accionamiento del compresor y los ventiladores de la instalación llevará asociada una emisión de CO<sub>2</sub>, por lo que el estudio será la suma de misiones de ambas contribuciones.

La cantidad total de CO<sub>2</sub> emitido indirectamente a la atmosfera debido al funcionamiento de la instalación durante un año, resultará:

	R404A	R407F
PEII anual (Kg equivalente CO <sub>2</sub> )	23331	21522

**Tabla 47.** PEII anual y diario para cada refrigerante

**6.4.-POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC)**

En este punto se determina la cantidad total de dióxido de carbono emitido a la atmósfera debido al funcionamiento del sistema de refrigeración estudiado a lo largo del proyecto. Una vez determinados los potenciales de efecto invernadero, el Potencial Total de Calentamiento se define como:

$$PTCI = PEID + PEII \quad [\text{Ec. 38}]$$

Con los datos anuales y estimando un periodo de funcionamiento de nuestra instalación de 20 años, los resultados obtenidos son:

	<b>R404A</b>	<b>R407F</b>
<b>PTC anual</b> (Kg equivalente CO <sub>2</sub> )	<b>32949,12</b>	<b>25405,56</b>
<b>PTC 20 años</b> (Tm equivalente CO <sub>2</sub> )	<b>658,98</b>	<b>508,11</b>

**Tabla 48.** *PTC anual y periodo vida útil para cada refrigerante*



## CAPITULO 7: PRESUPUESTO

---



## **7.1.-INTRODUCCIÓN**

El presupuesto incluye todos los gastos que son derivados de la realización del proyecto. Podemos dividir estos costes según los siguientes conceptos:

- Coste de los materiales.
- Visado del colegio oficial.
- Mano de obra
- Redacción del proyecto y gastos de ingeniería

No tendré en cuenta en el cálculo del presupuesto, el coste de la nave donde será ubicada nuestra cámara de congelado. Sólo se incluirán en el cómputo de los gastos los elementos que son objeto del proyecto.

## **7.2.- COSTE DE LOS MATERIALES**

En este apartado serán incluidos todos los gastos de los productos utilizados para la realización de la instalación frigorífica y de protección contra incendios. Podemos agrupar los materiales en los siguientes grupos:

- Elementos cámara frigorífica.
- Grupo compresor y recipiente de líquido.
- Intercambiadores.
- Aparatos de regulación y control.
- Equipos de protección contra incendios.

### *7.2.1. – Elementos cámara congelado*

A continuación es detallado un listado de los diferentes elementos o materiales de la cámara de congelado con el número de unidades de cada elemento, el coste unitario y total:

<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>(€/Ud)</b>	<b>Precio (€)</b>
Panel aislante paredes y techo	470 m <sup>2</sup>	46,90	22043
Aislamiento suelo	168 m <sup>2</sup>	27,60	4635,46
Accesorios remate techo	60 m	18,00	108,00
Perfiles sanitario ángulo	192 m	3,17	609,31
Puerta Cámara	1	2012,94	2012,94
Iluminación interior	10	77,00	770,00
Cortinas de láminas basculantes	1	679,00	679,00
Interruptor puerta	1	16,20	16,20
Válvula equilibrio de presiones	1	354,00	354,00
Hacha de bombero	1	100	100,00
<b>Total costes</b>	-	-	<b>31327,91</b>

*Tabla 49. Precios elementos cámara congelado*

### 7.2.2. – Grupo compresor y recipiente de líquido

El grupo compresor está formado por el compresor y el conjunto de accesorios que nos regulará su funcionamiento.

Material	Unidades	(€/Ud)	Precio (€)
Compresor BITZER 4FE-28Y-40P	1	8364	8364
Válvula seguridad descarga	1	530	530
Separador de aceite + adaptador	1	4720	4720
Enfriador de aceite	1	4200	4200
Recipiente de líquido	1	1230	1230
<b>Total costes</b>	-	-	<b>19044</b>

*Tabla 50. Precios compresor y recipiente de líquido*

### 7.2.3. – Intercambiadores

Los intercambiadores de la instalación son el evaporador y el condensador. El coste de cada uno de ellos se refleja en la siguiente tabla:

Material	Unidades	(€/Ud)	Precio (€)
Evaporadores	1	10382	10382
Condensador	1	5316	5316
<b>Total costes</b>	-	-	<b>15698</b>

*Tabla 51. Precios intercambiadores*

### 7.2.4. – Aparatos de regulación y control

A continuación se detallan los aparatos de regulación y control del sistema seleccionado:

Material	Unidades	(€/Ud)	Precio (€)
Termostato contr. 4 relés	1	728	728
Humidostato	1	549	549
Cuadro de maniobra eléctrico	1	3879	3879
Válvula solenoide	2	154	308
Válvula expansión termostática	2	167	334
Orificio válvula expansión	2	65	130
<b>Total costes</b>	-	-	<b>5298</b>

*Tabla 52. Precios aparatos de regulación y control*

## 7.2.5. – Equipos protección contra incendio

<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>(€/Ud)</b>	<b>Precio (€)</b>
Extintores portátiles 113B	6	43,45	260,7
Extintores portátiles 34A	3	55,89	167,67
Bocas de incendio equipadas (BIE's)	2	202,76	405,52
Alumbrado emergencia	10	50,20	502
Rótulos señalización	11	7	77
Sistemas detección y alarma humos	8	75,26	602,08
<b>Total costes</b>	-	-	<b>2014,97</b>

*Tabla 53. Precios equipos protección contra incendio*

## 7.2.6. – Resumen coste materiales

<b>Conceptos</b>	<b>Precio (€)</b>
Elementos cámara frigorífica	31327,91
Grupo compresor y recipiente de líquido	19044
Intercambiadores	15698
Aparatos de regulación y control	5298
Equipos de protección contra incendios	2014,97
<b>Total costes</b>	<b>73382,88</b>

*Tabla 54. Resumen precios materiales***7.3.- COSTE DE LA MANO DE OBRA**

Se establecerá el coste derivado del montaje de los equipos y de los diferentes sistemas. En primer lugar se detallan el número de horas necesarias para la realización de cada una de las tareas. Se definen cuatro diferentes:

☐ Montaje de la cámara: Implica el ensamblaje de los paneles, colocación de los accesorios y equipamiento del interior de la cámara.

☐ Montaje equipo de frío: Todos los componentes de la instalación llegan por separado. Deberán de ser colocados cada uno en su sitio y su posterior ensamblaje de cada una de las partes. El acoplamiento de los tubos, ocupará gran parte del tiempo dedicado. Serán realizados mediante soldadura in situ.

☐ Puesta en marcha: Una vez realizado el montaje de todos los componentes de la instalación, técnicos altamente cualificados verificarán y realizarán las pruebas pertinentes antes de poner la puesta en marcha de la instalación.

☐ Medidas contra incendio: Consiste en la colocación de los equipos de protección contra incendios.

Concepto	Tiempos (h)	(€/h)	Precio (€)
Montaje de la cámara	165	30	4950
Montaje equipo de frío	300	35	10500
Puesta en marcha	32	35	1120
Medidas contra incendio	80	30	2400
<b>Total costes</b>	662	-	<b>18970</b>

*Tabla 55. Precios mano de obra*

#### 7.4.- VISADO COLEGIO PROFESIONAL

Todas las instalaciones de carácter industrial deben obtener su correspondiente visado del colegio profesional. En este caso, el proyecto debe ser visado por el Colegio de Ingenieros Técnicos de Madrid. El importe del visado es establecido en base al tipo de instalación. Para instalaciones térmicas el coste se obtiene a partir de la potencia instalada, tal y como es indicado:

$$\text{Precio (€)} = 9623,15 + 110,44 \cdot F$$

- $F$ , potencia nominal de la instalación en KW.

Recordar que la potencia de nuestra cámara frigorífica es de 27 kW. El precio del visado será el siguiente:

$$\text{Precio (€)} = 9623,15 + 110,44 \cdot 27 = 12605,03 \text{ €}$$

#### 7.5.- REDACCION PROYECTO Y GASTOS INGENIERIA

Esta partida incluye todos los gastos derivados de la realización del proyecto y de la ingeniería encargada de llevarlo a cabo. Tendré en cuenta los siguientes conceptos:

Concepto	Tiempos (h)	(€/h)	Precio (€)
Cálculos del proyecto	30	40	1200
Redacción de la memoria	70	40	2800
Planos	20	40	800
Gastos adicionales	50	80*	4000
<b>Total costes</b>	-	-	<b>8800</b>

*Tabla 56. Precios redacción proyecto e ingeniería*

\*El precio por hora en gastos adicionales es superior al resto, debido a que están incluidos gastos como pueden ser: desplazamientos, dietas, impresión de documentos, tareas administrativas, etc.

## **7.6.- RESUMEN GASTOS TOTALES**

En la tabla siguiente podemos apreciar el coste para cada uno de los conceptos, así como el coste total de la implantación:

<b>Concepto</b>	<b>Precio (€)</b>
Coste de los materiales	73382,88
Mano de obra	18970
Visado del colegio profesional	12605,03
Redacción proyecto y gastos ingeniería	8800
<b>Total costes</b>	<b>113757,91</b>

*Tabla 57. Resumen costes totales*

Como podemos observar, el coste total de la instalación es de: **113.757'91 €**

Como era de suponer, el coste más elevado hace referencia al coste de materiales. Representa una parte muy importante del coste total de la instalación, aproximadamente un 64%. Dentro del coste de materiales, debemos destacar el elevado precio de los paneles de cerramientos de la cámara, como también otros accesorios como es la puerta de la cámara, que contribuyen a un encarecimiento considerable del coste total de la instalación.





## CAPITULO 8: CONCLUSIONES

---



## 8.1.- CONCLUSIONES

Llegados a este punto, se procede a resumir las conclusiones extraídas de cada uno de los capítulos anteriores:

✚ El objeto del presente Proyecto ha sido la elección del sistema de enfriamiento de una cámara de congelación, en función de la carga térmica máxima. Se han utilizado dos refrigerantes distintos realizando estudios comparativos de eficiencia y ambiental, además un estudio económico.

✚ La cámara de congelado objeto de estudio trata de un ejemplo ficticio, tiene una superficie de  $168,33 \text{ m}^2$  y se encuentra en el interior de una nave de  $274,36 \text{ m}^2$  de superficie. El emplazamiento de la nave es el Polígono Industrial Errotatxu, (48993) Getxo, Bizkaia.

✚ Los cálculos y simulaciones se han realizado para temperaturas exteriores entre:  $T_{\text{max}}=32^\circ\text{C}$  y  $T_{\text{min}}=-2,5^\circ\text{C}$ .

✚ El espesor del aislante seleccionado para paredes y techo ha sido:  $E_a=200 \text{ mm}$ . Para la puerta  $E_a=100 \text{ mm}$  y el suelo  $E_a=150 \text{ mm}$ .

✚ El resultado obtenido para la carga térmica máxima  $Q_F = Q_{\text{evap}} = 26,93 \text{ kW}$ . Las cargas térmicas calculadas muestran que más de la mitad del gasto energético ( $15840 \text{ W}$ ) se destinan a la congelación de nuestro producto, al llegar este a  $5^\circ\text{C}$  y tener que reducir su temperatura hasta  $-18^\circ\text{C}$ .

✚ La demanda de frío anual calculada ha sido  $E_{\text{evap}} = 227,68 \text{ MWh}$

✚ Las potencias y COP obtenidos para el R404A ( $T=32^\circ\text{C}$ ) han sido:

$$Q_{\text{cond}} = 40,79 \text{ kW}; W_{\text{elec}} = 17,11 \text{ kW}; W_{\text{ventiladores}} = 3,99 \text{ kW}; \text{COP}_{\text{elec}} = 1,276$$

✚ Las potencias y COP obtenidos para el R407F ( $T=32^\circ\text{C}$ ) han sido:

$$Q_{\text{cond}} = 39,24 \text{ kW}; W_{\text{elec}} = 15,18 \text{ kW}; W_{\text{ventiladores}} = 3,96 \text{ kW}; \text{COP}_{\text{elec}} = 1,407$$

✚ Los valores de energía anuales mas significativos para el R404A han sido:

$$E_{\text{cond}} = 305,48 \text{ MWh}; E_{\text{electtotal}} = 128,90 \text{ MWh}; \text{COP}_{\text{medio}} = 1,766$$

✚ Los valores de energía anuales mas significativos para el R407F han sido:

$$E_{\text{cond}} = 297,53 \text{ MWh}; E_{\text{electtotal}} = 118,84 \text{ MWh}; \text{COP}_{\text{medio}} = 1,915$$

✚ Los valores de emisiones de  $\text{CO}_2$  para el R404A estimando un periodo de funcionamiento de la instalación de 20 años han sido:  $\text{PTC}_{20 \text{ años}} = 658,98 \text{ Tm eq. CO}_2$

✚ Los valores de emisiones de  $\text{CO}_2$  para el R407F estimando un periodo de funcionamiento de la instalación de 20 años han sido:  $\text{PTC}_{20 \text{ años}} = 508,11 \text{ Tm eq. CO}_2$

✚ El coste total para de la instalación asciende a  $113.757,91 \text{ €}$ . La partida más elevada del presupuesto corresponde a la de materiales, con aproximadamente un 64% del total, debido al importe de los paneles frigoríficos.

✚ Las simulaciones anuales, nos muestran el menor consumo eléctrico del sistema que utiliza R407F. Esto, sumado a la menor emisión de  $\text{CO}_2$ , a las menores penalizaciones económicas y a la posibilidad de usarlo en las mismas instalaciones, lo convierten en un refrigerante idóneo para sustituir al R404A.



## **9. NOMENCLATURA**

$C_{pa}$	Calor específico del aire (kJ/kgaire°C)
$C_{pv}$	Calor específico del agua (kJ/kgagua°C)
$COP_{ind}$	Coeficiente de eficiencia energética indicado
$COP_{elec}$	Coeficiente de eficiencia energética eléctrico
$COP_{mec}$	Coeficiente de eficiencia energética mecánico
$C_p$	Calor específico del aire (J/KgK)
$e_j$	Espesor de la capa (m)
$E_a$	Espesor del aislante (m)
$E_{comp}$	Demanda eléctrica diaria del compresor (kWh)
$E_{cond}$	Energía diaria emitida por condensador (kWh)
$E_{vent}$	Demanda eléctrica diaria de los ventiladores (kWh)
$\Delta h$	Diferencia de entalpías entre el aire exterior e interior (KJ/kg)
$h_i$	Coeficiente superficial de transmisión de calor interior (W/m <sup>2</sup> K)
$h_e$	Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (W/m <sup>2</sup> K)
$h_{1'}$	Entalpía en el punto final del subenfriamiento (KJ/Kg)
$h_{2'}$	Entalpía en el punto de salida de la válvula de expansión (KJ/Kg)
$h_{3'}$	Entalpía en el punto de entrada al compresor (KJ/Kg)
$h_{4'}$	Entalpía en el punto final de la compresión (KJ/Kg)
$h_5$	Entalpía en el punto de descarga del compresor (KJ/Kg)
$i$	Nivel de iluminación (W/m <sup>2</sup> )
$L_0$	Incremento de entalpía de líq. sat. a vap. sat. (kJ/kgagua)
$\lambda_j$	Conductividad térmica de la capa j, (Kcal/h m °C).
$m_{evap}$	Caudal de aire del evaporador (Kg/s)
$m_{cond}$	Caudal de aire del condensador (Kg/s)
$m_r$	Caudal de refrigerante (Kg/s)
$\eta$	Rendimiento indicado
$n$	Numero de personas en la instalación
$N$	Número de renovaciones al día
$P_{aspiración}$	Presión de aspiración (bar)
$P_{descarga}$	Presión de descarga (bar)
$P_{evap}$	Presión de evaporación (bar)
$P_{cond}$	Presión de condensación (bar)
$q$	Calor emitido por persona (W)
$q_{cond}$	Calor específico en el condensador (KJ/Kg)
$q_{evap}$	Calor específico en el evaporador (KJ/Kg)
$Q_{cond}$	Potencia del condensador (W)
$Q_{evap}$	Potencia del evaporador (W)
$Q_1$	Carga térmica debida a la pérdidas por transmisión (W)
$Q_2$	Carga térmica debida a la renovación de aire (W)
$Q_3$	Carga térmica debida al producto (W)
$Q_4$	Carga térmica debida al calor de la maquinaria (W)
$Q_5$	Carga térmica aportada por las personas (W)
$Q_6$	Carga térmica aportada por la iluminación (W)
$Q_F$	Carga térmica final aplicando factor de seguridad (W)
$Q_T$	Carga térmica total (W)

$\rho$	Densidad media del aire, kg/m <sup>3</sup> .
$r_c$	Relación de compresión
$R$	Resistencia térmica de una capa (m <sup>2</sup> K/W)
$R_c$	Resistencia térmica del cemento (m <sup>2</sup> K/W)
$R_h$	Resistencia térmica del hormigón (m <sup>2</sup> K/W)
$R_l$	Resistencia térmica del ladrillo (m <sup>2</sup> K/W)
$R_p$	Resistencia térmica del panel (m <sup>2</sup> K/W)
$R_T$	Resistencia total capas que componen el cerramiento (m <sup>2</sup> K/W)
$S$	Área de transferencia, (m <sup>2</sup> )
$S_c$	Área de la cámara congelado, (m <sup>2</sup> )
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas (Text-Tint) (°C)
$T$	Temperatura del aire (°C)
$T_{ec}$	Temperatura exterior de cálculo (°C)
$T_{ext}$	Temperatura en el exterior (°C)
$T_{int}$	Temperatura en el interior de la cámara (°C)
$T_{cond}$	Temperatura de condensación (°C)
$T_{evap}$	Temperatura de evaporación (°C)
$T_{m\acute{a}xima}$	Temperatura máxima exterior (°C)
$T_{media}$	Temperatura media exterior (°C)
$T_{m\acute{i}nima}$	Temperatura mínima exterior (°C)
$U$	Coeficiente global de transferencia de calor (W/m <sup>2</sup> K)
$V$	Volumen del recinto (m <sup>3</sup> )
$w_{comp}$	Trabajo específico de compresión (KJ/Kg)
$w_{elec}$	Potencia eléctrica del compresor por unidad de masa (KJ/Kg)
$\Phi_{int}$	Relación de humedad absoluta interior (kgagua/kgaire)
$\Phi_{ext}$	Relación de humedad absoluta exterior (kgagua/kgaire)
$w_{mec}$	Potencia mecánica del compresor por unidad de masa (KJ/Kg)
$W_{comp}$	Potencia indicada del compresor (W)
$W_e$	Potencia eléctrica del compresor (W)
$W_{vent}$	Potencia de los ventiladores del condensador y evaporador (W)

## **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] ASHRE HANDBOOK, 1990
- [2] CATALOGO TAVER
- [3] IDEA, 2007
- [4] MINISTERIO DE LA VIVIENDA, 2006
- [5] CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (C.T.E.)
- [6] AISLAMIENTO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN CÁMARAS FRIGORÍFICAS  
A. Madrid Vicente, Ediciones. 1995
- [7] INGENIERÍA DEL FRIO, Sánchez Pineda, 2001
- [8] [www.honeywellrefrigerants.com](http://www.honeywellrefrigerants.com)
- [9] CATALOGO BITZER 2013
- [10] CATALOGO KOBOL-KOXKA
- [11] GUIA BÁSICA DEL FRIGORISTA, CATAINFRI S.L. 2010

## ANEXO I: PLANOS


---

SITUACIÓN

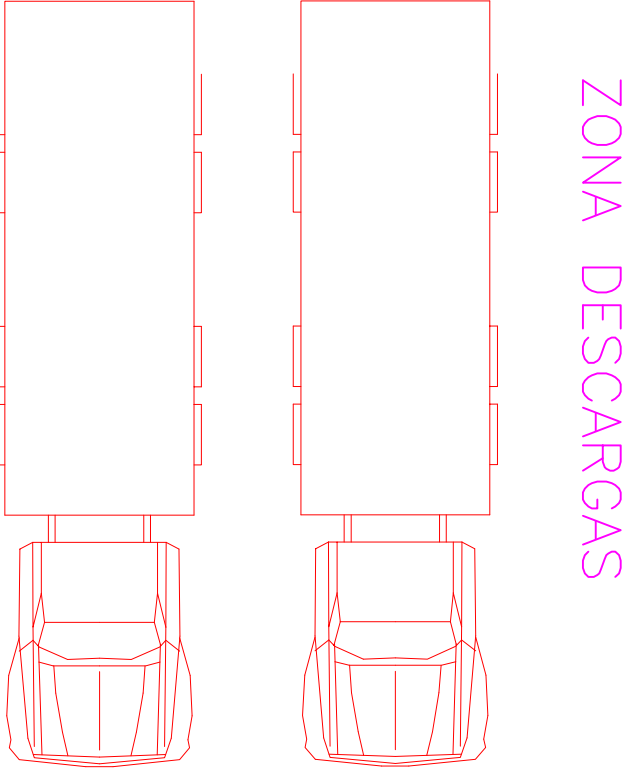
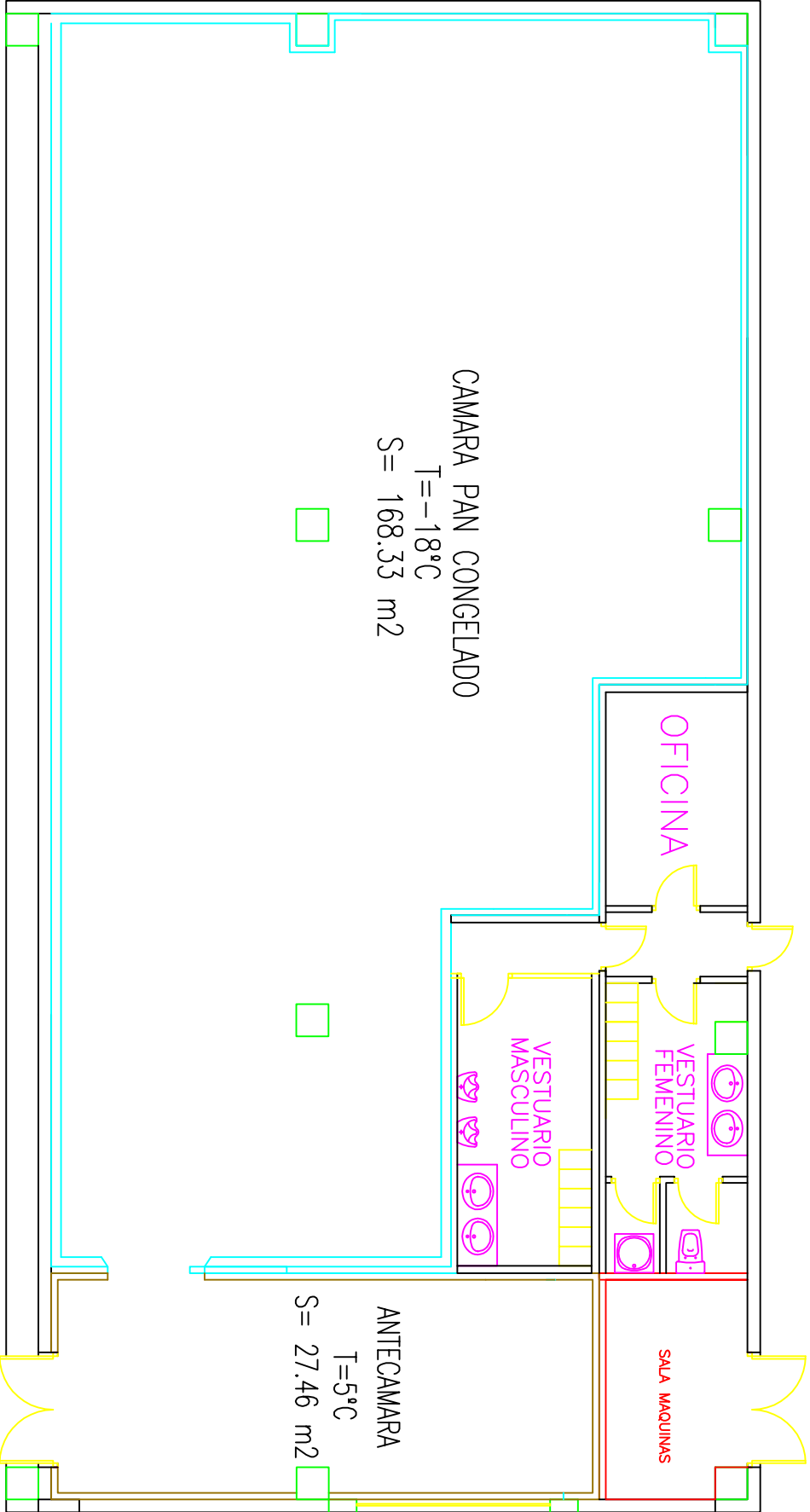



EMPLAZAMIENTO

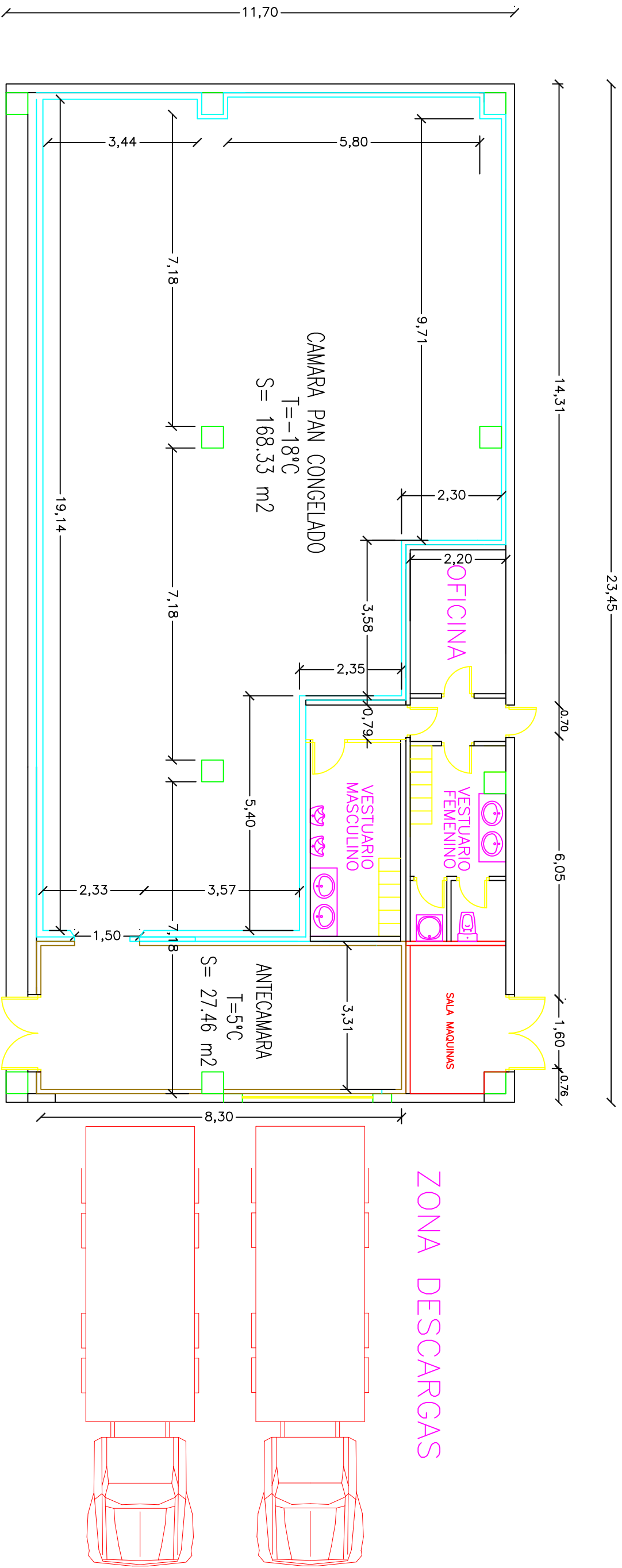



	PROYECTO	
	DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PAN	
PLANO	LOCALIZACION	
FECHA	12 DE JUNIO DE 2014	
SITUACIÓN	POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU	48993 Getxo, Bizkaia
Nº PLANO	Nº MODIFICACION	ESCALA
1		S/E A-3
ALUMNO		
DAVID TORRES CIQUENDEZ		
I.T.I. MECÁNICA		



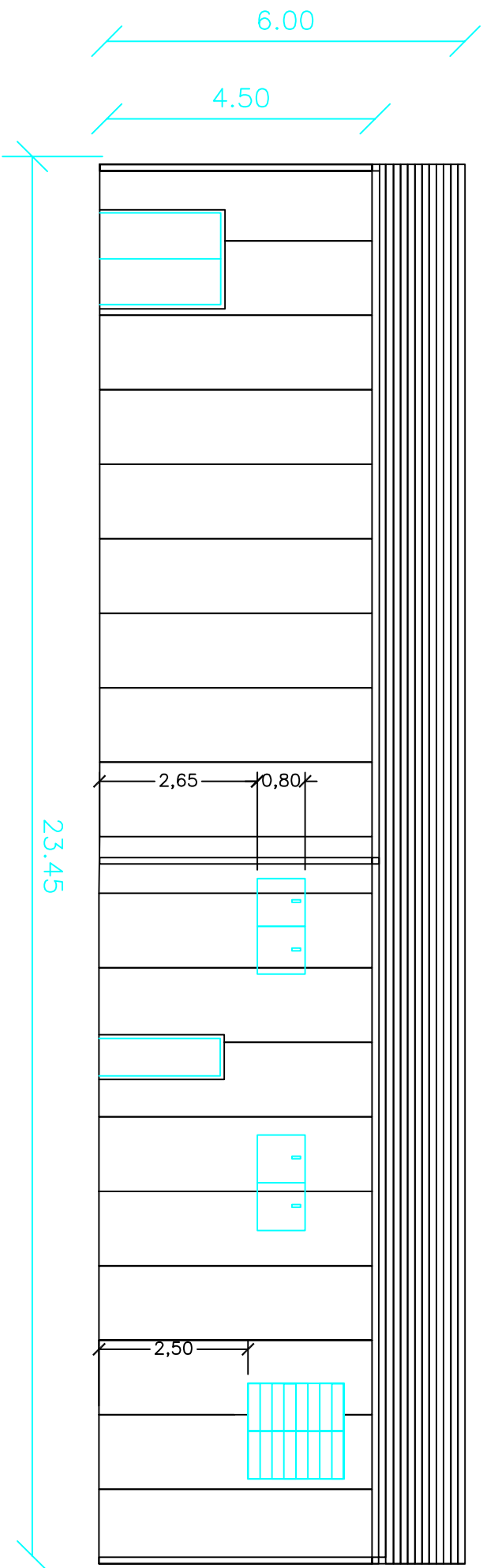


		PROYECTO	
		DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PAN	
PLANO		PLAN TA	
FECHA		12 DE JUNIO DE 2014	
SITUACIÓN		POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU 48993 Getxo, Bizkaia	
Nº PLANO	Nº MODIFICACION	ESCALA	
2		1/100 A-3	
ALUMNO			
DAVID TORRES CICUENDEZ			
I.T.I. MECÁNICA			

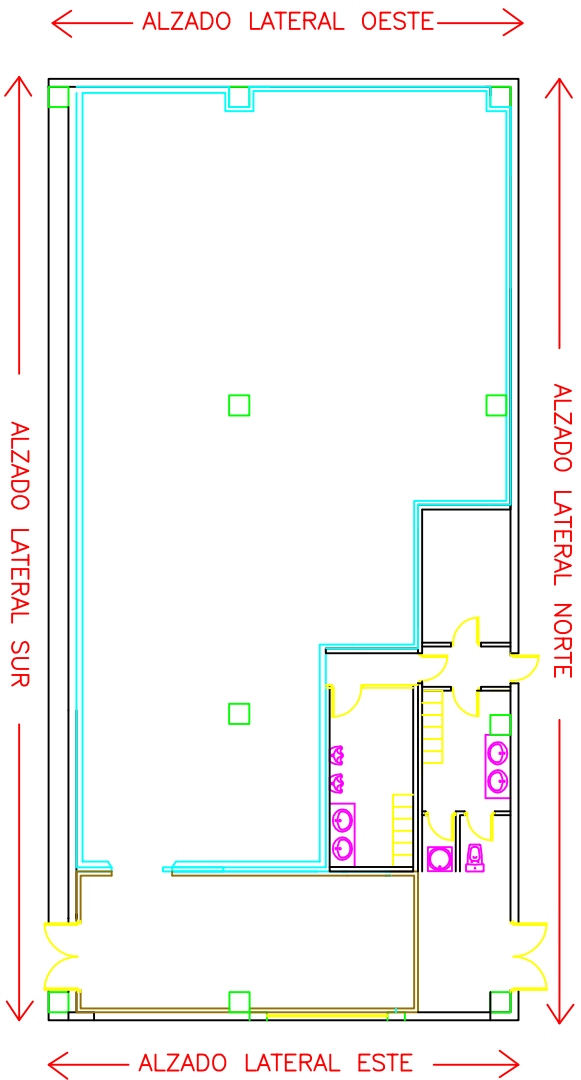
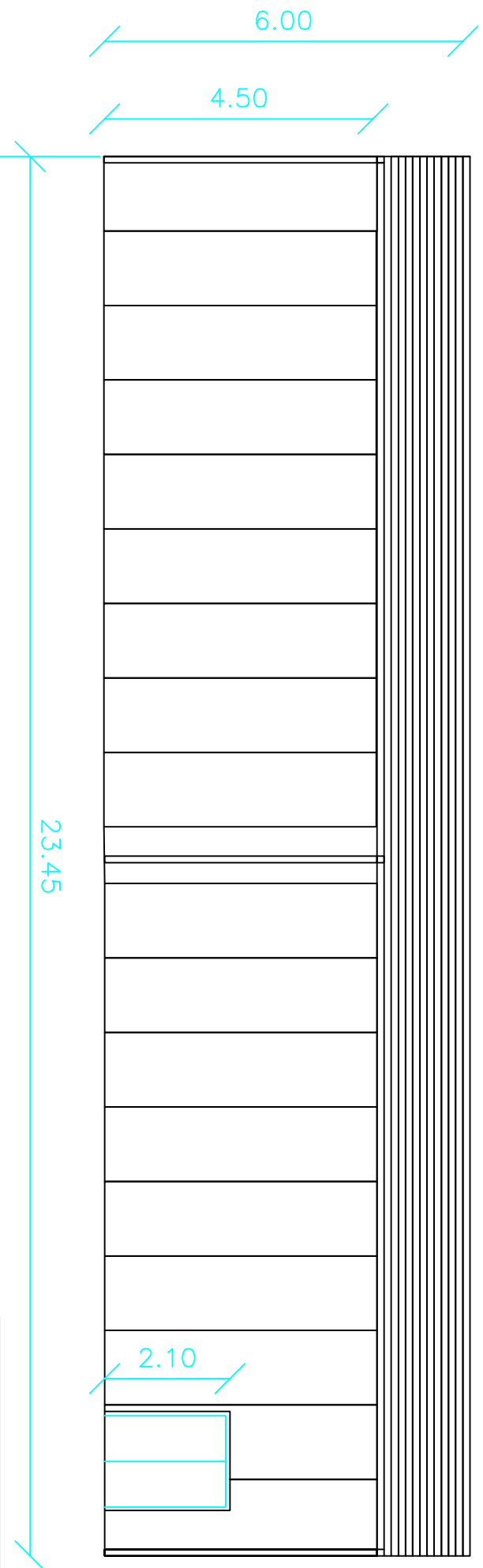



	PROYECTO		
	DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PAN		
PLANO	COTAS		
FECHA	12 DE JUNIO DE 2014		
SITUACIÓN	POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU 48993 Getxo, Bizkaia		
Nº PLANO	Nº MODIFICACION	ESCALA	
3		1/100 A-3	
ALUMNO			
DAVID TORRES CICUENDEZ			
I.T.I. MECÁNICA			

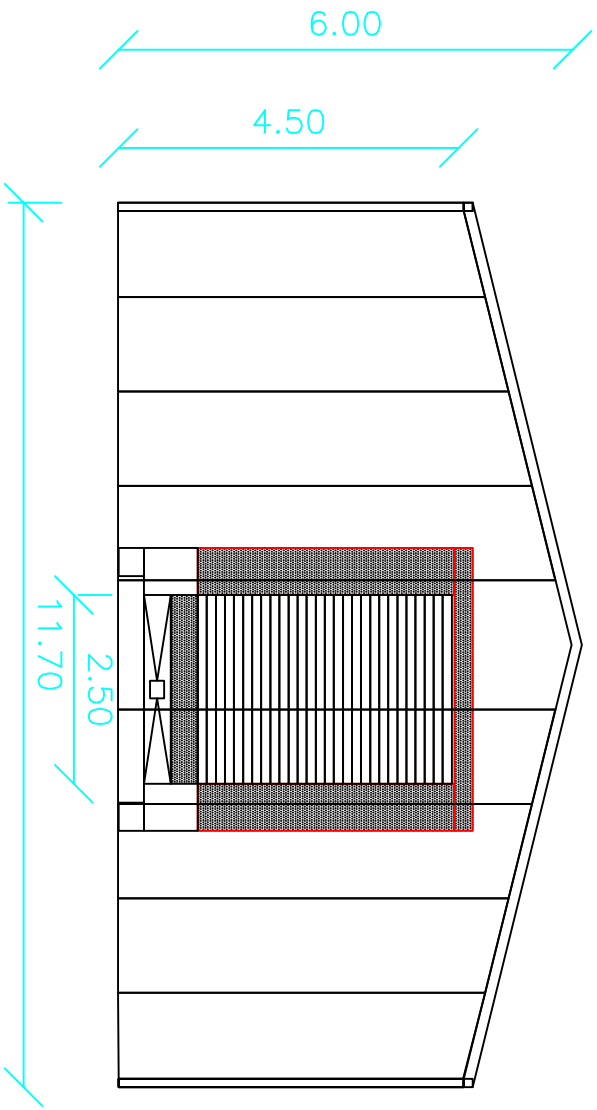
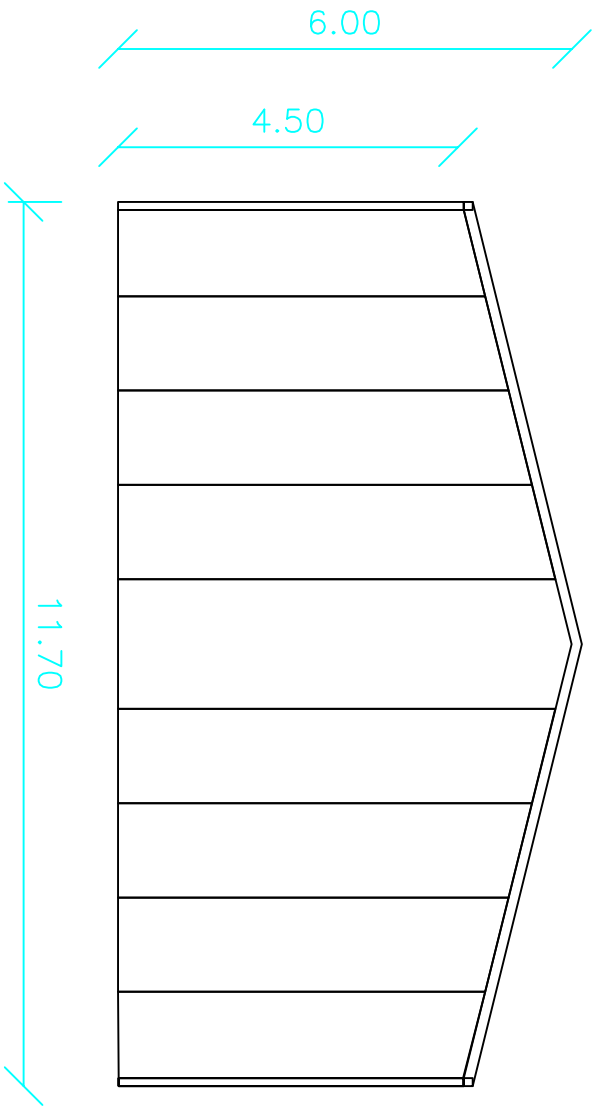
ALZADO LATERAL NORTE



ALZADO LATERAL SUR



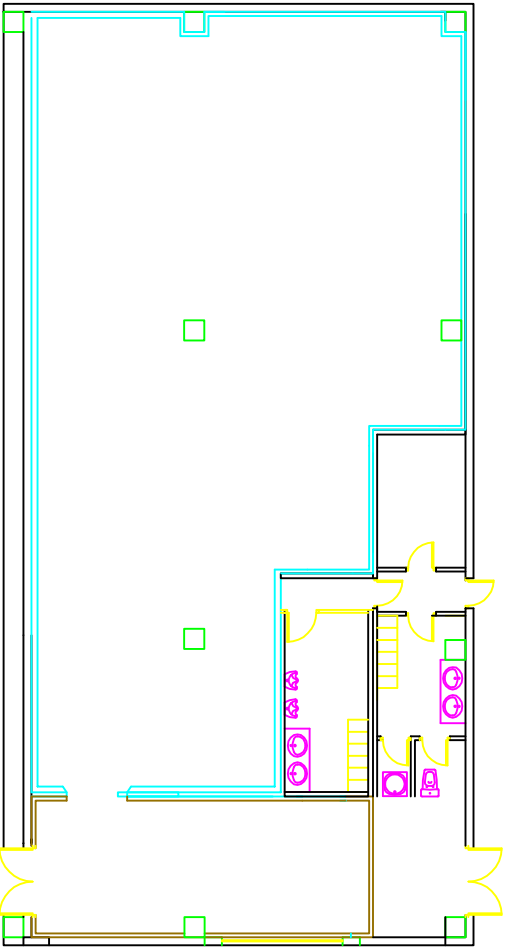
	PROYECTO		
	DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PAN		
PLANO	ALZADOS LATERALES I		
FECHA	12 DE JUNIO DE 2014		
SITUACIÓN	POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU 48993 Getxo, Bizkaia		
Nº PLANO 4	Nº MODIFICACION	ESCALA 1/100 A-3	
ALUMNO			
DAVID TORRES CICUENDEZ			
I.T.I. MECÁNICA			



ALZADO LATERAL OESTE

ALZADO LATERAL ESTE

ALZADO LATERAL OESTE



ALZADO LATERAL ESTE



PROYECTO

DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE PAN

PLANO

ALZADOS LATERALES II

FECHA

12 DE JUNIO DE 2014

SITUACIÓN

POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU 48993 Getxo, Bizkaia

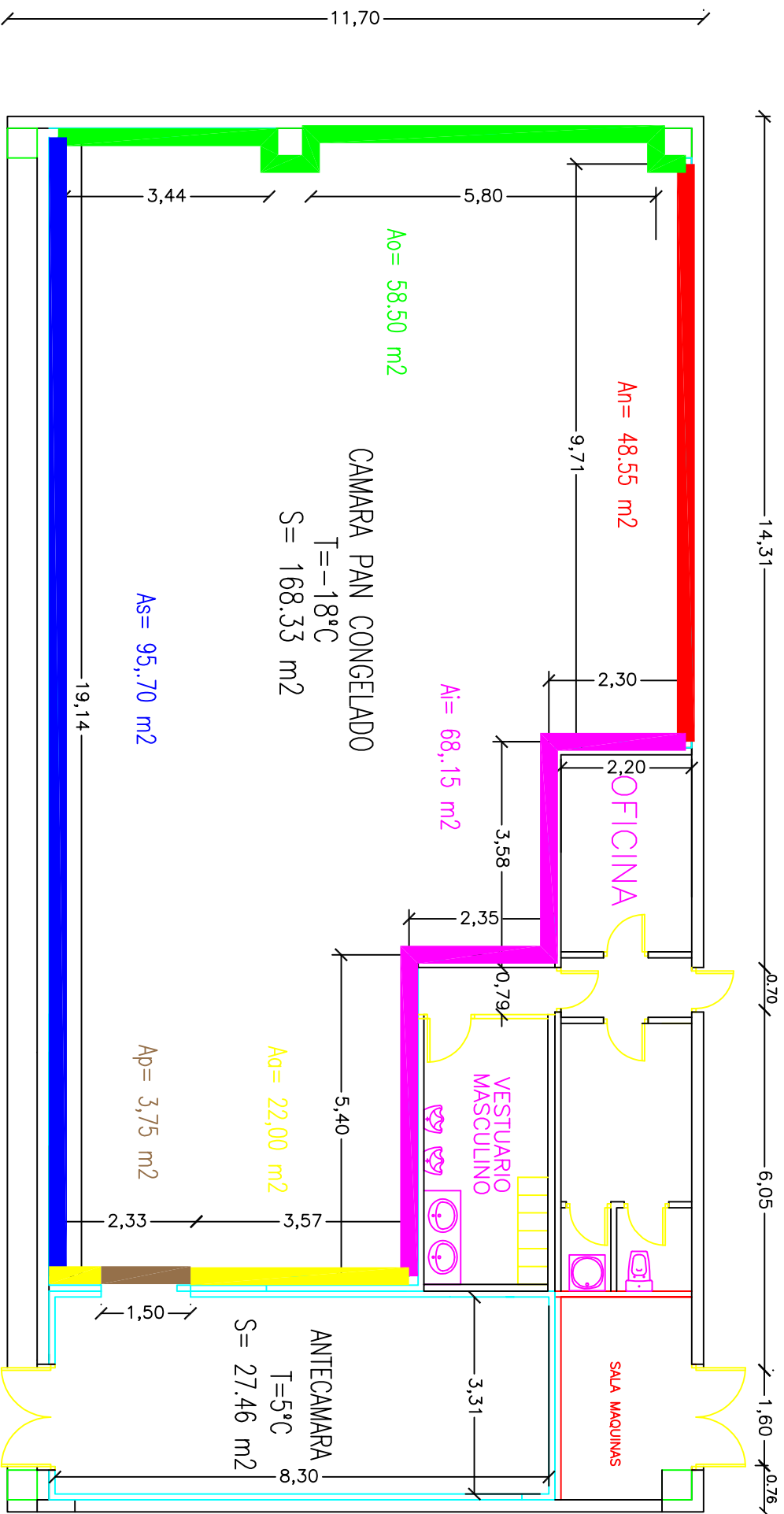
Nº PLANO

Nº MODIFICACION

ESCALA 1/100 A-3


ALUMNO

DAVID TORRES CICUENDEZ  
I.T.I. MECÁNICA



ZONA DESCARGAS

LEYENDA	
<div></div>	PARED NORTE
<div></div>	PARED OESIE
<div></div>	PARED SUR
<div></div>	DEPENDENCIAS INTERIORES
<div></div>	PARED ANTECAMARA
<div></div>	PUERTA CAMARA

		PROYECTO	
		DISEÑO CÁMARA PARA LA CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PAN	
PLANO		ORIENTACIONES	
FECHA		12 DE JUNIO DE 2014	
SITUACIÓN		POLIGONO INDUSTRIAL ERROTATXU 48993 Getxo, Bizkaia	
Nº PLANO	6	Nº MODIFICACION	ESCALA
			1/100 A-3
ALUMNO			
DAVID TORRES CICUENDEZ			
I.T.I. MECÁNICA			



## ANEXO II: DIAGRAMAS

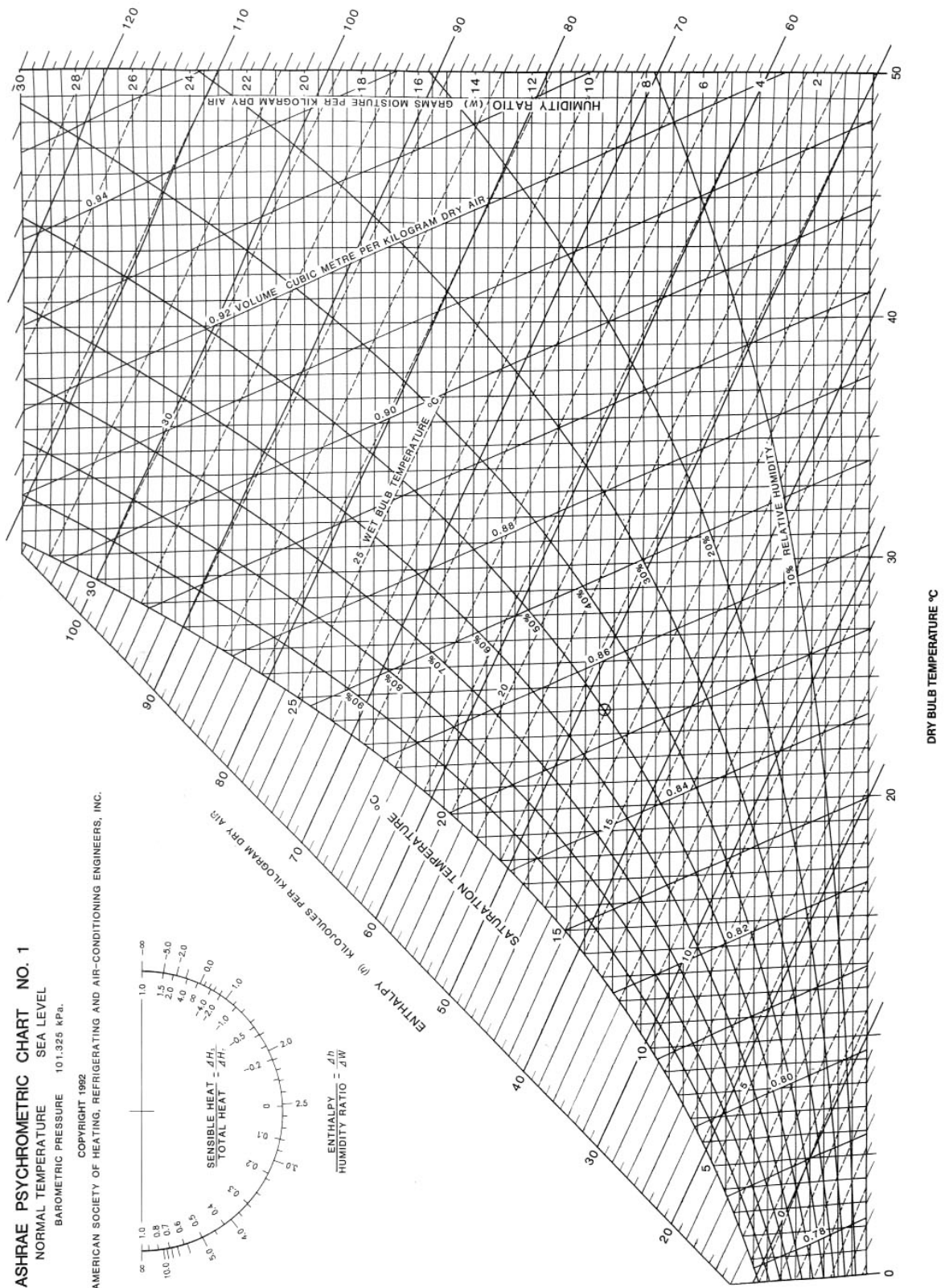
---



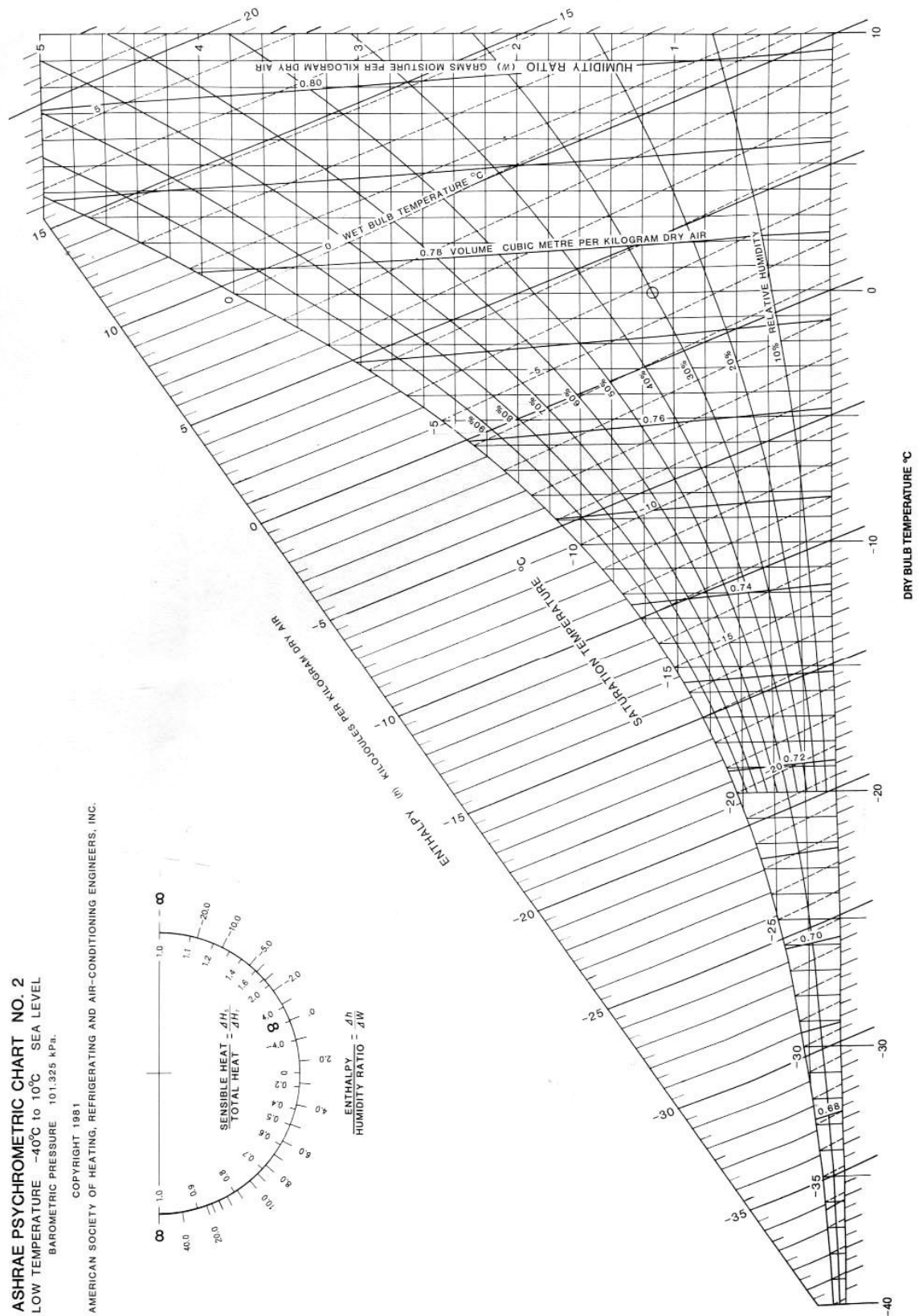


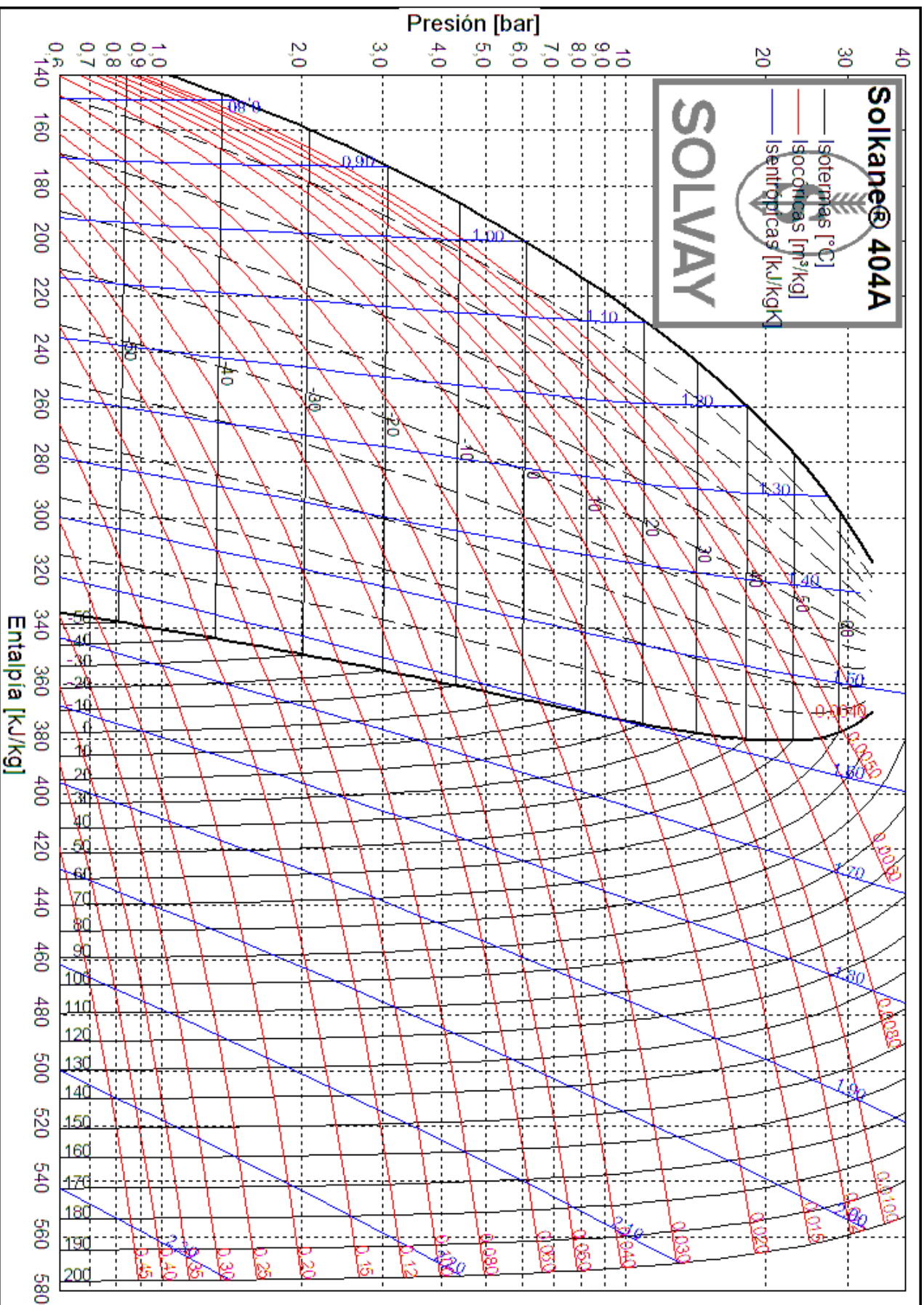
## 2. Diagramas Psicrométricos

Gráfica 2.1: Diagrama Psicrométrico ASHRAE

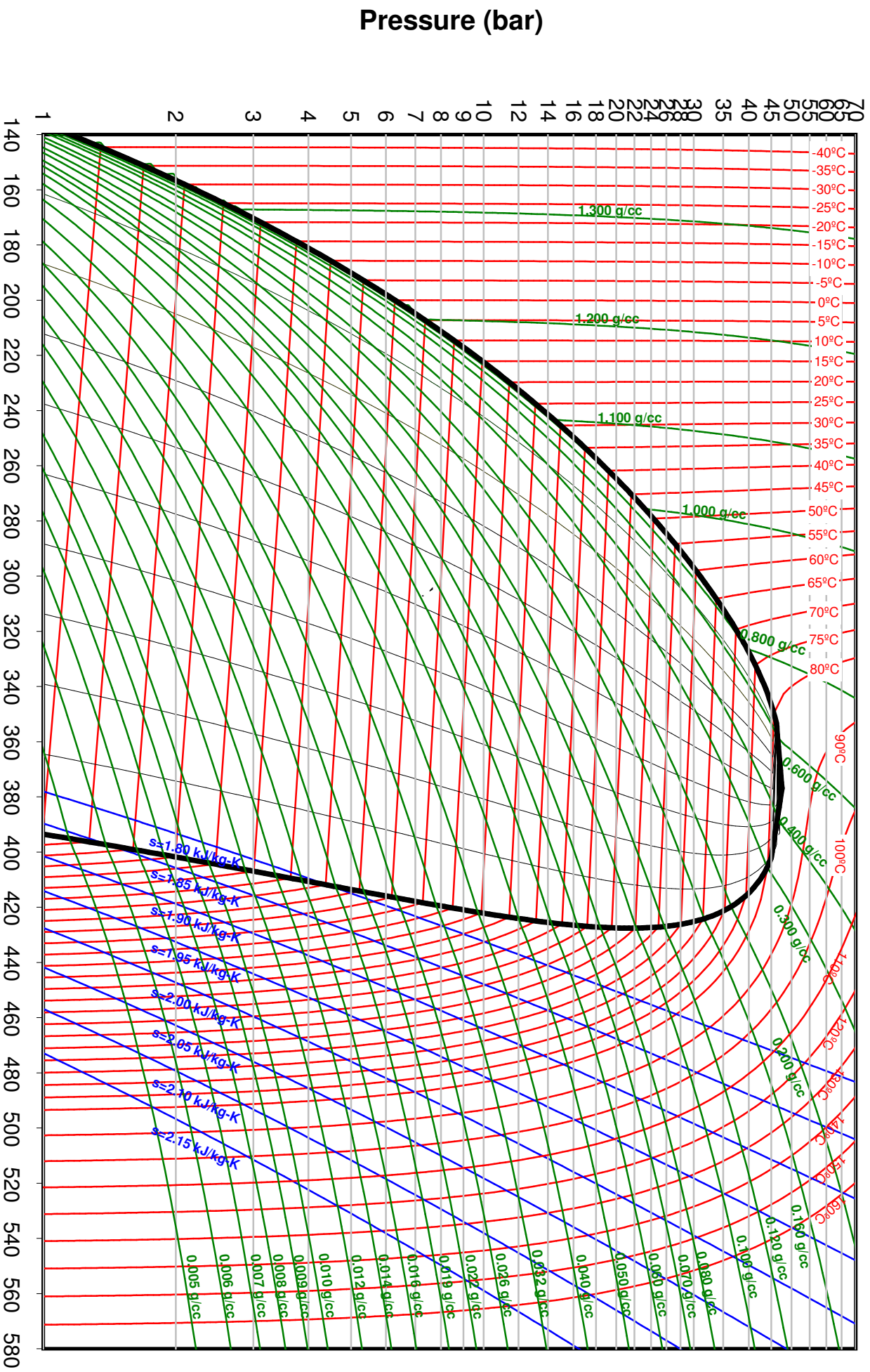


Gráfica 2.2: Diagrama Psicrométrico ASHRAE para bajas temp.





# Performax LT



Enthalpy (kJ/kg)

Pressure (bar)

Reference State:  
 $h = 200 \text{ kJ/kg}$ ,  $s = 1.00 \text{ kJ/kg-K}$   
sat. liq at  $0^\circ\text{C}$

**Honeywell**

## ANEXO III: DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

---



## Introducción

Genetron® Performax™ LT de Honeywell (una mezcla ternaria de HFC- 32/HFC- 125/HFC-134a la que ASHRAE asignó el nombre de R-407F) funciona como sustituto del HCFC-22 inocuo para la capa de ozono en diversas aplicaciones de refrigeración comercial, sobre todo en aplicaciones de baja temperatura.

Gracias a que Genetron® Performax™ LT es muy afín al HCFC-22, se puede utilizar también como fluido de reconversión en aplicaciones donde se utiliza HCFC-22. Genetron® Performax™ LT es también el refrigerante con menor potencial de calentamiento atmosférico para las nuevas instalaciones de supermercados al ofrecer un mejor rendimiento energético en comparación con otros HFC. En aplicaciones de baja y media temperatura para supermercados constituye la mejor alternativa para el R-404A, dada su mayor capacidad y eficiencia.

A Honeywell se le ha concedido una patente para Genetron® Performax™ LT en EE. UU. y ha solicitado la protección mediante patente en Europa.

## Aplicaciones

Genetron® Performax™ LT es el sustituto más adecuado para el HCFC-22 en aplicaciones de refrigeración comercial de baja y media temperatura, como expositores de congelados de supermercados, vitrinas, armarios refrigerados, transporte refrigerado y las máquinas de hielo. Genetron® Performax™ no es un sustituto "idéntico". Los lubricantes como el aceite mineral y el alquilbenceno que se han utilizado tradicionalmente con el R-22 no son miscibles con Genetron® Performax™. Por lo tanto, para asegurar un retorno de aceite adecuado se deberían usar lubricantes sintéticos que se puedan mezclar, como los poliolésteres.

Genetron® Performax™ LT también es un buen sustituto del R-404A para instalaciones nuevas y existentes de supermercados. Con el cambio del R-404A al Genetron® Performax™ LT, los sistemas de supermercado actuales reducirán las emisiones de carbono y el consumo de energía.

Genetron® Performax™ LT es una mezcla. Es muy importante que los sistemas se carguen con líquido desde el cilindro. Cargar Genetron® Performax™ LT como gas puede provocar que la composición del refrigerante no sea la correcta y se dañe el sistema. Es preciso utilizar una válvula reductora para controlar el caudal de refrigerante que va a la boca de aspiración y poder garantizar así que no entre ningún golpe de líquido en el compresor. Para obtener más información sobre los procedimientos de reconversión más adecuados, consulte "Consideraciones sobre las tareas de mantenimiento" y "Reconversión de sistemas existentes" que aparecen en este folleto.

## Propiedades físicas

Nombre químico	Difluorometano Pentafluoroetano Tetrafluoroetano
Fórmula molecular	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> /CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>
Aspecto	Incoloro
Peso molecular	82,1

Unidades	Sistema inglés	Sistema métrico internacional
Temperatura del punto de burbuja	-50,9 °F (1 atm)	-46,1 °C (101,3 kPa)
Temperatura del punto de rocío	-39,4 °F (1 atm)	-39,7 °C (101,3 kPa)
Presión del punto de burbuja†	190,2 (Psia)	1311 (kPa)
Presión del punto de rocío†	165,9 (Psia)	1144 (kPa)
Temperatura crítica	180,8 °F	82,6°C
Presión crítica	689,5 (Psia)	4754 (kPa)
Volumen crítico	0,0336 (ft³/lb)	0,0021 (m³/kg)
Densidad crítica	29,8 (lb/ft³)	477,37 (kg/m³)
Densidad del vapor	0,279 (lb/ft³) (1 atm)	4,465 (kg/m³) (101,3 kPa)
Densidad del líquido	69,73 (lb/ft³)	1117 (kg/m³)
Capacidad térmica del líquido	0,38 (Btu/lb °F)	1,57 (kJ/kg K)
Capacidad térmica del vapor†	0,28 (Btu/lb °F)	1,18 (kJ/kg K)
Calor de vaporización	110,66(Btu/lb) (1 atm)	257,21 (kJ/kg) (101,3 kPa)
Conductividad térmica del líquido†	0,052 (Btu/hr ft °F)	89,71 (mW/m °K)
Conductividad térmica del vapor†	0,0084 (Btu/hr ft °F)	14,51 (mW/m °K)
Viscosidad del líquido†	0,348 (lbm/ft hr)	143,99 (μPa.s)
Viscosidad del vapor†	0,032 (lbm/ft hr)	13,20 a (μPa.seg)
Límites de inflamabilidad en el aire (% volumen)	Ninguno *	
Potencial de destrucción del ozono (ODP)	0.0	
Clasificación del grupo de seguridad según ASHRAE	A1/A1	

\* Basado en el estándar 34 de ASHRAE de ignición por llama.

† Todos los datos están tomados a una temperatura de 25 °C (77 °F) a menos que se indique lo contrario.

## Especificaciones

Ensayo (% peso mín. de HFC-32/125/134a):	99,7%
Humedad (% peso máx.):	0,0010
Residuos no volátiles (% vol. máx.):	0,01
Cloruro (% peso máx.):	0,0001
Acidez total (máx. mg KOH/gm):	0,0015
No condensables en fase de vapor (% vol. máx.)	1,5

## Consideraciones sobre las tareas de mantenimiento

Genetron® Performax™ LT es una mezcla ternaria de HFC-32/HFC-125/HFC-134a. Este producto se desarrolló para su uso en aplicaciones de refrigeración comercial de baja y media temperatura; sobre todo para reconvertir los sistemas HCFC-22 y R-404A actuales.

A diferencia de los fluidos puros y los azeótropos, las mezclas alcanzan la ebullición y condensación a diferentes temperaturas según una determinada presión. La gama de variación de esas temperaturas se denomina deslizamiento de temperatura. Genetron Performax LT tiene un deslizamiento de temperatura moderado entre 3 °K y 6 °K, en función de la presión. Al trabajar con mezclas, las tablas de presión y temperatura se muestran con dos presiones para cada temperatura: la presión de rocío y la presión de burbuja. La presión de rocío se utiliza para determinar la presión del sistema cuando el refrigerante se encuentra en estado de vapor saturado o sobrecalentado (es decir, en la boca de aspiración y la de descarga del compresor). La presión de burbuja se utiliza para determinar la presión del sistema cuando el refrigerante se encuentra en estado líquido saturado o subenfriado (es decir, en la entrada de la válvula de expansión o el tubo capilar).

Genetron® Performax™ LT debe ser el único líquido que se cargue en el sistema para garantizar que la composición del refrigerante sea correcta así como el rendimiento adecuado del sistema. (Consulte "Procedimientos para reconversiones" para obtener más información.)

## Compatibilidad de materiales

Honeywell no recomienda el uso de solventes clorados para limpiar los sistemas de refrigeración o sus componentes.

### Deshidratadores

Los deshidratadores compatibles con Genetron® Performax™ LT están disponibles comercialmente. Es necesario contactar con cada fabricante de deshidratadores para obtener recomendaciones concretas.

### Compatibilidad con plásticos y elastómeros

En la siguiente tabla se resume la compatibilidad que se espera obtener entre diferentes materiales y Genetron® Performax™ LT. Esta información se basa en los resultados de las pruebas efectuadas por Honeywell y otras organizaciones del sector a escala mundial sobre cada componente del refrigerante y las mezclas R-32/R-125/R-134a.

Estos datos solo deben tenerse en cuenta como una guía de compatibilidad de los materiales con Genetron® Performax™ LT. A la hora de actualizar los sistemas existentes a Genetron® Performax™ LT, Honeywell recomienda que los técnicos de servicio consulten con los fabricantes originales del equipo para confirmar las piezas de recambio aprobadas. Dado que existen muchos grados y composiciones diferentes de estos materiales, recomendamos que, a la hora de diseñar sistemas nuevos, se realicen pruebas de compatibilidad con el grado concreto de los materiales que se esté considerando utilizar. Las clasificaciones en la tabla deben utilizarse con precaución al tratarse de juicios basados en muestras limitadas. Los clientes deben consultar con el fabricante o realizar otros ensayos independientes.

## Seguridad y toxicidad

Honeywell recomienda leer la hoja de datos de seguridad (MSDS en inglés) antes de utilizar Genetron® Performax™ LT.

## Embalaje

Genetron® Performax™ LT se encuentra disponible en cilindros de 825 kg y contenedores ISO a granel.

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA**

**Información del Producto**

Nombre del producto : Genetron Performax™ LT  
Tipo de producto : Mezcla  
Uso de la sustancia/mezcla : Agente de refrigeración  
Usos desaconsejados : ninguno(a)

**Identificación de la sociedad o empresa**

Compañía : Honeywell Fluorine Products Europe B.V.  
Laarderhoogtweg 18  
1101 EA Amsterdam  
Países Bajos  
Teléfono : (31) 020 5656911  
Telefax : (31) 020 5656600  
Teléfono de emergencia : (32) 16 391 209  
+1-703-527-3887 (ChemTrec)  
+1-651-523-0309 (Medical PROSAR)  
Para informaciones complementarias, por favor ponerse en contacto con: PMTEU Product Stewardship:  
SafetyDataSheet@Honeywell.com

Honeywell International, Inc.  
101 Columbia Road  
Morristown, NJ 07962-1057  
USA

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Clasificación**

**REGLAMENTO (CE) No 1272/2008**


Gases a presión Gas licuado  
H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

**DIRECTIVAS UE Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE**

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

**Elementos de la etiqueta**

**REGLAMENTO (CE) No 1272/2008**

Pictogramas de peligro : 

Palabra de advertencia : Atención

Indicaciones de peligro : H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Consejos de prudencia : P281 Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.  
P260 No respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la



**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

P308 + P313      niebla/ los vapores/ el aerosol.  
EN CASO DE exposición manifiesta o  
presunta: Consultar a un médico.  
P410 + P403      Proteger de la luz del sol. Almacenar en  
un lugar bien ventilado.

**DIRECTIVAS UE Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE**

No es una sustancia o mezcla peligrosa según la Directiva de la CE 67/548/CEE ó 1999/45/CE.

**Elementos de etiquetado adicionales:**

Componentes                      : norflurano  
determinantes del peligro      pentafluoroetano  
para el etiquetado                difluorometano

Etiquetado especial de        : Contiene gases fluorados de efecto invernadero regulados por  
determinados productos      el Protocolo de Kioto.

**Efectos potenciales sobre la salud**

Piel                                : La rápida evaporación del líquido puede producir congelación.  
Ojos                                : Puede provocar una irritación en los ojos.  
Ingestión                         : Vía de exposición poco probable  
Inhalación                        : Las altas concentraciones de vapor pueden causar dolores de  
cabeza, mareos, somnolencia y náuseas, y pueden provocar la  
pérdida de consciencia.  
Puede causar arritmia cardíaca.  
Exposición Crónica            : Causa daño a los órganos siguientes: sistema cardiovascular,  
Tracto respiratorio superior.  
Otros datos                        : Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de  
calentamiento.

**Efectos potenciales para el medio ambiente**

No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.

**3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

Nombre químico	No. CAS No. Índice Número de registro	Clasificación 1272/2008	Classification 67/548/EEC	Concentración	Observaciones

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

	No. CE				
norflurano	811-97-2 212-377-0	Press. Gas ; H280		>= 25 - < 50	1*
pentafluoroetano	354-33-6 206-557-8	Press. Gas ; H280		>= 25 - < 50	1*
difluorometano	75-10-5 200-839-4	Flam. Gas 1; H220 Press. Gas ; H280	F+; R12	>= 25 - <= 50	1*

1\* - Para consultar los límites de concentración específicos/factor M, consulte los Anexos de 1272/2008  
N.C.\* - No es una sustancia peligrosa - a título informativo

Los límites de exposición laboral, en caso de existir, figuran en el epígrafe 8.

Para consultar el texto completo de las frases R/sentencias H que se mencionan en este Apartado, consulte el Apartado 16.

#### 4. PRIMEROS AUXILIOS

- Inhalación : Llevar al aire libre. Puede ser necesaria la respiración artificial y/o el oxígeno. Llame inmediatamente al médico.
- Contacto con la piel : La rápida evaporación del líquido puede producir congelación. En caso de contacto con el líquido, descongelar con agua las partes afectadas y después quitarse las ropas cuidadosamente. Lavar con abundante agua. Consultar a un médico. Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.
- Contacto con los ojos : Retirar las lentillas. Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también debajo de los párpados, al menos durante 15 minutos.
- Ingestión : Dado que este producto es un gas, consulte la sección relativa a inhalación. No provocar vómitos sin consejo médico. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Llame inmediatamente al médico.
- Otros datos : No dar adrenalina o drogas similares.

Consulte la sección 11 para obtener información detallada acerca de los síntomas y los efectos sobre la salud.

## Genetron Performax™ LT

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

- |  |   |   |
|--|---|---|
| Medios de extinción apropiados   | : | El producto no es inflamable.<br>ASHRAE 34<br>Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.   |
| Peligros específicos en la lucha contra incendios                        | : | Posibilidad de generar reacciones peligrosas durante un incendio debido a la presencia de F y grupos Cl.<br>El calor provoca un aumento de presión con riesgo de reventón<br>Enfriar los contenedores cerrados expuestos al fuego con agua pulverizada.<br>Este producto no es inflamable a temperatura ambiente y presión atmosférica.<br>Sin embargo, puede inflamarse si se mezcla con aire a presión y se expone a fuentes de ignición fuertes. |
| Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios | : | Use ropa de protección completa y aparato de respiración autónomo.  |
| Otros datos  | : | Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.   |

### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

- |  |   |  |
|--|---|--|
| Precauciones personales                  | : | Contacte inmediatamente con el personal de emergencia.<br>Llevar equipo de protección. Impedir que se acerquen personas no protegidas. Asegúrese una ventilación apropiada. En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado. |
| Precauciones relativas al medio ambiente | : | Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. El producto se evapora fácilmente.   |

Equipo de protección individual, ver sección 8.

### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

#### Manipulación

- |                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| Consejos para una manipulación segura | : | Abra el bidón con precaución ya que el contenido puede estar presurizado. El producto deberá ser usado solamente en áreas en las cuales todas las luces al descubierto y otras fuentes de ignición hayan sido excluidas. Recipiente a presión. Protéjase de los rayos solares y evítese exponerlo a temperaturas superiores a 50 °C. No perforar ni quemar, incluso después de usado. No vaporizar hacia una llama o un cuerpo incandescente. No utilizar en las zonas sin una ventilación adecuada. El equipo contaminado (brochas, trapos) deben limpiarse inmediatamente con agua. |
|---------------------------------------|---|---|

- |                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Medidas de higiene | : | Proveer de ventilación adecuada. No comer ni beber durante su utilización. |
|--------------------|---|--|

#### Almacenamiento

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

Información complementaria sobre las condiciones de almacenamiento : Almacenar en envase original. Mantener alejado de la luz directa del sol. Mantener los envases herméticamente cerrados en un lugar fresco y bien ventilado.

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

**Límites de exposición profesional**

Componentes	Base	Valore	Parámetros de control	Factor de excedencia	Forma de exposición	Observaciones
norflurano						
pentafluoroetano	HONEYWELL	TWA	1.000 ppm			No estamos al corriente de ningún límite de exposición nacional.

TWA - media de tiempo de carga

**Controles de la exposición profesional**

Los equipos de protección personal deben cumplir las normas EN vigentes: Protección respiratoria EN 136, 140, 149; Gafas protectoras/Protección ocular EN 166; Vestimenta de protección EN 340, 463, 469, 943-1, 943-2; Guantes protectores CEN 374; Zapatos protectores EN-ISO 20345.

**Controles de exposición medioambiental**

Manejar conforme a las normativas ambientales locales y siguiendo las buenas prácticas industriales.

**Protección personal**

Protección respiratoria : Observaciones: En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.

Protección de las manos : Material del guante: Vitón (R)  
Guantes resistentes al calor

Protección de los ojos : Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166  
Pantalla facial

Protección de la piel y del cuerpo : Calzado protector

**Valor DNEL/ PNEC**

Sin datos disponibles sobre DNEL.

Sin datos disponibles sobre PNEC.

**9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

Estado físico	:	Gas licuado
Color	:	claro y incolore
Olor	:	similar al éter
	:	sin datos disponibles
Punto /intervalo de ebullición	:	-45,5 °C a 1.013 hPa
Temperatura de ignición	:	sin datos disponibles
Límites inferior de explosividad	:	Ninguno/a
Límites superior de explosividad	:	Ninguno/a
Presión de vapor	:	10.218 hPa a 21,1 °C
Densidad	:	sin datos disponibles
pH	:	neutro
Solubilidad en agua	:	sin datos disponibles
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	:	log Pow 1,06 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a)
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	:	log Pow 1,48 Etano, pentafluoro- (HFC-125)
Densidad relativa del vapor	:	(valor) no determinado

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

Condiciones que deben evitarse	:	El calor provoca un aumento de presión con riesgo de reventón Recipiente a presión. Protéjase de los rayos solares y evítese exponerlo a temperaturas superiores a 50 °C. No perforar ni quemar, incluso después de usado. No vaporizar hacia una llama o un cuerpo incandescente.
Materias que deben evitarse	:	Sustancias oxidantes Incompatibilidad posible con los materiales de álcalis sensibles. Metales en polvo
Productos de descomposición peligrosos	:	Compuestos halogenados Fluoruro de hidrógeno Haluros de carbonilo

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

Óxidos de carbono

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Toxicidad oral aguda	: sin datos disponibles
Toxicidad cutánea aguda	: sin datos disponibles
Toxicidad aguda por inhalación	: CL50 Especies: rata Valor: > 500000 ppm Tiempo de exposición: 4 h Sustancia test: 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a)
Toxicidad aguda por inhalación	: CL50 Especies: rata Valor: 520000 ppm Tiempo de exposición: 4 h Sustancia test: Difluorometano (HFC-32)
Toxicidad aguda por inhalación	: CL50 Especies: rata Valor: > 769000 ppm Tiempo de exposición: 4 h Sustancia test: Etano, pentafluoro- (HFC-125)
Irritación de la piel	: sin datos disponibles
Irritación ocular	: sin datos disponibles
Sensibilización	: Sensibilización cardiaca Especies: perros Sustancia test: 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) Nivel de efecto no observado 50 000 ppm Nivel de efecto mínimo observable 75 000 ppm
Sensibilización	: Sensibilización cardiaca Especies: perros Sustancia test: Difluorometano (HFC-32) Nivel de efecto no observado >350 000 ppm
Sensibilización	: Sensibilización cardiaca Especies: perros Sustancia test: Etano, pentafluoro- (HFC-125) Nivel de efecto no observado 75 000 ppm Nivel de efecto mínimo observable 100 000 ppm
Toxicidad por dosis repetidas	: Especies: rata Vía de aplicación: Inhalación NOAEL : 50000 ppm Sustancia test: 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) Nota: Toxicidad subcrónica

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

: Especies: rata  
NOAEL : 10000 ppm  
Sustancia test: 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a)  
Nota: Toxicidad crónica

: Especies: rata  
Vía de aplicación: Inhalación  
NOAEL : 50000 ppm  
Sustancia test: Difluorometano (HFC-32)  
Nota: Toxicidad subcrónica

: Especies: rata  
Vía de aplicación: Inhalación  
NOAEL :  $\geq 50000$  ppm  
Sustancia test: Etano, pentafluoro- (HFC-125)  
Nota: Toxicidad subcrónica

Otros datos : Inhalación: Puede causar arritmia cardíaca.

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

**Efectos ecotoxicológicos**

Toxicidad para los peces : sin datos disponibles

Toxicidad para las plantas acuáticas : sin datos disponibles

Toxicidad para los microorganismos : sin datos disponibles

Toxicidad aguda a invertebrados acuáticos : sin datos disponibles

**Otros datos**

Información ecológica complementaria : La acumulación en los organismos acuáticos es improbable.

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**

Producto : Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.  
Remitirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su recuperación/reciclado.

Código de residuos para producto no utilizado : Clasificación: 14.06.01

Otros datos : Disposiciones relativas a los residuos:  
Directiva 2006/12/CE; Directiva 91/689/CE  
CE Reglamento No. 1013/2006

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

Equipo de protección individual, ver sección 8.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

**ADR/RID**

UN Número : 3163  
Descripción de los productos : GAS LICUADO, N.E.P.  
(1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE, DIFLUOROMETHANE, PENTAFLUOROETHANE)  
Clase : 2  
Código de clasificación : 2A  
Número de identificación de peligro : 20  
Etiquetas ADR/RID : 2.2  
Peligrosas ambientalmente : no

**IATA**

UN Número : 3163  
Descripción de los productos : Liquefied gas, n.o.s.  
(1,1,1,2-Tetrafluoroethane, Difluoromethane, Pentafluoroethane)  
Clase : 2.2  
Etiquetas de peligro : 2.2

**IMDG**

UN Número : 3163  
Descripción de los productos : LIQUEFIED GAS, N.O.S.  
(1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE, DIFLUOROMETHANE, PENTAFLUOROETHANE)  
Clase : 2.2  
Etiquetas de peligro : 2.2  
EmS Número : F-C, S-V  
Contaminante marino : no

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

**Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

Potencial de reducción de ozono (ODP) : 0

Potencial de calentamiento global (PCG) : 1.705

**Otra información de inventario**

EE.UU. Toxic Substances Control Act (Ley de control de sustancias tóxicas) : En el Inventario TSCA



**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

Australia. Ley sobre productos químicos industriales (Notificación y evaluación)	:	En o de conformidad con el inventario
Canadá. Canadian Environmental Protection Act (CEPA) (Ley de protección ambiental de Canadá). Domestic Substances List (DSL)(Listado de sustancias nacionales)	:	Todos los componentes de este producto están en la lista canadiense DSL.
Japón. Listado legal Kashin-Hou	:	En o de conformidad con el inventario
Corea. Listado legal para el control de productos químicos tóxicos (TCCL).	:	En o de conformidad con el inventario
Filipinas. Ley para el control de residuos nucleares y sustancias tóxicas.	:	En o de conformidad con el inventario
China. Inventario de sustancias químicasbstances	:	En o de conformidad con el inventario
New Zealand. Inventory of Chemicals (NZIoC), as published by ERMA New Zealand	:	En o de conformidad con el inventario

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Texto de las frases R y sentencias H al que se hace referencia en el encabezado 3**

norflurano	:	H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
pentafluoroetano	:	H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
difluorometano	:	H220 H280 R12	Gas extremadamente inflamable. Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento. Extremadamente inflamable.

**Otros datos**

Todas las directivas y leyes se refieren a las versiones actuales.  
Las variaciones respecto a la versión anterior se han señalado para su comodidad mediante líneas verticales situadas en el margen izquierdo del texto.

Abreviaturas:  
EC European Community  
CAS Chemical Abstracts Service

**Genetron Performax™ LT**

Versión 1.1

Fecha de revisión  
16.05.2012

---

La información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad, es la más correcta de que disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada, está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, procesado, almacenamiento, transporte, eliminación y descarga, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no puede ser válida para dicho material, usado en combinación con otros materiales o en cualquier proceso, a menos que sea indicado en el texto. La determinación final relativa a la idoneidad de todo material es responsabilidad exclusiva del usuario.  
La información suministrada no es garantía de las características.

---

# Genetron® 404A

## Introducción

El Genetron® 404A (HFC-404a) es un compuesto inocuo para la capa de ozono desarrollado para ser una alternativa a largo plazo a los refrigerantes Genetron® 502 (CFC-502) y Genetron® 22 (HCFC-22) en aplicaciones de refrigeración comercial de temperatura media y baja. Entre las aplicaciones donde el Genetron® 404A constituye un refrigerante de reconversión adecuado cabe citar los expositores de congelados de supermercados, los armarios expositores refrigerados, las vitrinas, la refrigeración de transportes y las máquinas de hielo.

El Genetron® 404A ha sido desarrollado como sustituto del Genetron® 502, pero no es un sustituto directo, pues los aceites minerales y los lubricantes de alquilbenceno, utilizados tradicionalmente con el Genetron® 502, no son miscibles con el Genetron® 404A. Los técnicos de mantenimiento deben consultar al fabricante del equipo original los lubricantes recomendados.



## Propiedades físicas

Componentes:	Nombre químico:	Fórmula molecular:	Peso %:
HFC-125	Pentafluoroetano	$\text{CHF}_2\text{CF}_3$	44%
HFC-143a	1,1,1 Trifluoroetano	$\text{CH}_3\text{CF}_3$	52%
HFC-134a	1,1,1,2 Tetrafluoroetano	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	4%
Peso molecular			97.6
Punto de ebullición <sup>iv</sup> (°C)			-46.2
Temperatura crítica (°C)			72.2
Presión crítica (kPa)			3668.6
Densidad crítica (kg/m <sup>3</sup> )			483.7
Densidad del líquido saturado <sup>v</sup> (kg/m <sup>3</sup> )			1034.7
Calor de evaporización en el punto de ebullición <sup>i</sup> (kJ/kg)			35.8
Calor específico del vapor a presión constante <sup>iv</sup> (kJ/kg.°C)			0.09
Gama inflamable, % volumen en aire			Ninguna <sup>ii</sup>
Potencial de Destrucción de Ozono (ODP-R11 = 1)			0
Clasificación del grupo de seguridad según ASHRAE/ANSI norma 34-1992			A1/A1

<sup>i</sup> Refprop v 4.0 (NIST)

<sup>ii</sup> Límites de inflamabilidad medidos utilizando ASTM E681 con fuente de ignición de cocina activada eléctricamente según ASHRAE norma 34.

<sup>iv</sup> a 101.3 kPa

<sup>v</sup> a 26.7 °C

<sup>vi</sup> Cp a 101.3 kPa y 26.7 °C

## Tabla temperatura/ presión

Temperatura (°C)	Presión de burbuja (líquido) (kPa)	Presión de rocío (vapor) (kPa)
-60	51	48
-56	63	60
-52	78	74
-48	95	91
-44	114	110
-40	137	133
-36	164	159
-32	194	188
-28	228	222
-24	267	260
-20	310	303
-16	359	351
-12	414	405
-8	474	465
-4	541	531
0	615	604
4	696	685
8	785	773
12	882	869
16	987	974
20	1102	1089
24	1227	1213

## Compatibilidad con plásticos y elastómeros

La siguiente tabla es un resumen de los datos de compatibilidad de materiales obtenidos gracias a pruebas realizadas por Honeywell y otras organizaciones industriales de todo el mundo. Puesto que existen múltiples categorías y fórmulas de estos materiales, recomendamos que al diseñar sistemas nuevos se lleven a cabo pruebas de

compatibilidad en las categorías específicas de los materiales que se utilicen. Estos datos constituyen únicamente una indicación de la compatibilidad de los materiales con el Genetron® 404A. Los datos de la tabla deben utilizarse con precaución ya que se trata de datos basados en muestreos limitados. El cliente debe consultar al fabricante o realizar pruebas adicionales independientes.

## Compatibilidad con plásticos y elastómeros

Material	Genetron® 404A	Genetron® 404A Polioléster
Terpolímero de etilenopropileno-dieno	A	A
Copolímero de etileno-propileno	A	A
Polietileno clorosulfonado	A	I
Poliisopreno	AI	I
Polietileno clorado	A	IA
Neopreno (cloropreno)	A	AI
Epiclorohidrina	AI	IA
Fluoruro de polivinilideno y copolímero de fluoruro de vinilideno y hexafluoropropileno	I	IA
Silicona	IA	AI
Poliuretano	AI	AI
Nitrilos	AI	AI
H-NBR	AI	A
Caucho de butilo	AI	A
Polisulfuro	A	I
Nilón	A	AI
Politetrafluoroetileno	A	A
PEEK	A	A
ABS	AI	I
Polipropileno	AI	AI
Sulfuro de polifenileno	AI	AI
Teretftalato de polietileno	A	A
Polisulfona	A	A
Poliimida	A	AI
Polieterimida	A	A
Poliftalamida	AI	I
Poliamida-imida	AI	A
Acetal	A	I
Fenólico	A	AI
Estratificado de epoxi	A	A

I: Inadecuado

IA: Inadecuado con algunas excepciones

A: Adecuado

AI: Adecuado con algunas excepciones

## Reconversión

### Manejo

El Genetron® 404A es una mezcla. Por este motivo, es esencial cargar los sistemas únicamente con líquido del cilindro, no vapor. La carga de vapor del Genetron® 404A puede hacer que la composición del refrigerante sea inadecuada y podría dañar el sistema. Los técnicos deben utilizar un dispositivo estrangulador para evitar que el compresor se llene de líquido y que se produzcan daños en el mismo.

### Lubricante

Con el Genetron® 404A se debe utilizar un lubricante miscible con los refrigerantes HFC. Honeywell recomienda utilizar un lubricante como poliolester (POE) que haya sido aprobado por el fabricante del compresor. Las diferencias entre los lubricantes basados en poliolester hacen difícil asumir que son intercambiables. Consulte al fabricante del compresor la marca y el grado de viscosidad adecuados para el compresor del sistema que está reconvirtiendo.

### Dispositivo de expansión

La mayoría de los sistemas del Genetron® 502 equipados con un dispositivo de expansión normal funcionarán de forma satisfactoria con el Genetron® 404A, pero puede ser necesario ajustar el sobrecalentamiento. Las unidades del Genetron® 502 equipadas con un tubo capilar pueden funcionar de forma satisfactoria en la mayoría de los casos con el tubo capilar original subcargando la unidad (siempre y cuando las condiciones ambientales sean relativamente constantes).

## Detección de fugas

Utilice detectores de fugas para localizar fugas o llevar una supervisión constante de salas enteras. La detección de fugas es importante para la conservación del refrigerante, la protección y el buen funcionamiento de los equipos, la reducción de emisiones y la protección de las personas que están en contacto con el sistema. No utilice nunca aire para realizar la detección de fugas.

## Almacenamiento y manipulación

Para garantizar una composición del refrigerante y un comportamiento del sistema correctos, el Genetron® 407C debe ser introducido en el sistema únicamente como carga líquida.

### A granel y en cilindros

Los cilindros del Genetron® 404A, que deben estar claramente marcados, se deben guardar en una zona de almacenamiento adecuadamente ventilada, fría y seca, alejada de calor, llamas, productos químicos corrosivos, humos, explosivos, etc. y, en caso contrario, protegidos contra posibles daños. En ninguna circunstancia se puede rellenar un cilindro vacío con producto que no sea virgen. Una vez vacío, cierre bien la válvula del cilindro y vuelva a poner el tapón de la válvula. Devuelva los cilindros vacíos a su distribuidor Honeywell.

Los cilindros del Genetron® 404A se deben mantener resguardados de la luz solar directa, especialmente en climas cálidos. El Genetron® 404A líquido se expande considerablemente cuando se calienta, lo que reduce la cantidad de espacio para vapor que queda en el cilindro. Por lo tanto, una vez que el cilindro queda totalmente lleno de líquido, cualquier posterior aumento de la temperatura puede causar su explosión, que puede provocar lesiones graves. No permita nunca que el cilindro supere los 52 °C. Los recipientes, contenedores, conducciones de transferencia, bombas y otros equipos utilizados con el Genetron® 404A no deben estar expuestos a fuentes de calor (como soldadura, soldadura fuerte (brazing) y llama abierta) hasta que se hayan limpiado a fondo y no contengan ningún resto de vapor o líquido. Los cilindros no se deben exponer nunca

a soldadura, soldadura fuerte o llama abierta. La exposición a temperaturas altas puede provocar incendios, explosiones y la descomposición del Genetron® 404A, lo que puede originar la formación de compuestos tóxicos o corrosivos.

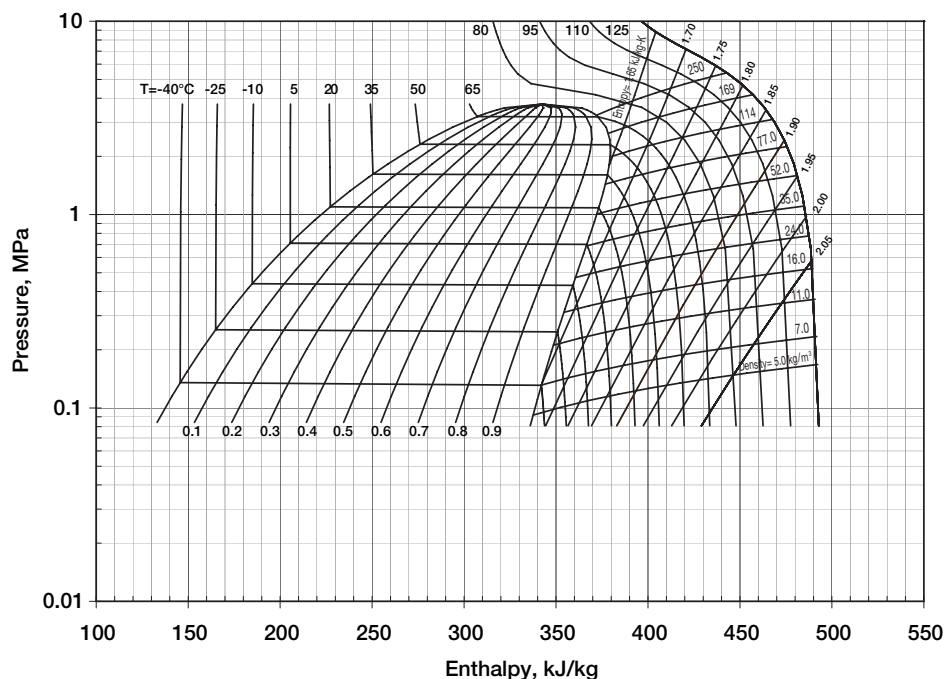
Cuando sea posible, el mantenimiento o la limpieza de los equipos se debe llevar a cabo sin entrar al recipiente. En caso de que sea preciso entrar a un depósito o a un espacio confinado, se deben observar los procedimientos de entrada a espacios confinados. Estos procedimientos exigen que realice esa tarea un equipo de trabajo cualificado y rellenar y colocar en ese lugar de trabajo un formulario de entrada a espacios confinados.

## Información disponible

Honeywell dispone de una amplia variedad de información sobre estos temas, incluyendo procedimientos de reconversión, especificaciones de los productos y descripciones de los productos. Solicite el paquete de software de Honeywell que contiene información acerca de las propiedades de los refrigerantes, los análisis de los ciclos y las dimensiones de las tuberías. Puede encontrar toda la información disponible en:  
[www.honeywellrefrigerants.com](http://www.honeywellrefrigerants.com)

## Pressure-Enthalpy Diagram

### Genetron® 404A-SI



#### Descargo de responsabilidad

A pesar de que todas las declaraciones e información aquí facilitadas se consideran precisas y fiables, no debe asumirse garantía o responsabilidad alguna, ni expresa ni implícita. La información aquí incluida no exime al usuario de la responsabilidad de realizar sus propias pruebas y experimentos. El usuario asume todos los riesgos y responsabilidades derivados del uso de esta información y de los resultados obtenidos. Las declaraciones o sugerencias relativas al uso de los materiales y a los procedimientos se efectúan sin garantía alguna de que dicho uso no constituya la infracción de alguna patente ni son recomendaciones para infringir ninguna de ellas. El usuario no debe asumir que todos los datos relativos a la toxicidad y todas las medidas de seguridad se indican en el presente documento, como tampoco debe suponer que no existen más medidas necesarias que las que aquí se especifican.

#### Honeywell Fluorine Products Europe B.V.

Laarderhoogtweg 18  
1101 EA Amsterdam  
The Netherlands

#### Honeywell Belgium N.V.

Haasrode Research Park,  
Grauwmeer 1  
B-3001 Heverlee  
Belgium  
Tel: +32 16-391 278  
Fax: +32 16-391 277

[www.honeywellrefrigerants.com](http://www.honeywellrefrigerants.com)

**Honeywell**



## **DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant**

Versión 2.2

Fecha de revisión 12.04.2006

Ref. 130000000494

Esta Ficha de Seguridad observa los estándares y requisitos reguladores de España y puede que no cumpla con los requisitos reguladores de otros países.

### **1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA**

#### **Información del Producto**

Nombre del producto : DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant

Tipos : ASHRAE Refrigerant number designation: R-404A

Empleo de la Sustancia/Preparación : refrigerante

Compañía : Du Pont de Nemours (Nederland) B.V.  
Baanhoekweg 22  
NL-3313 LA Dordrecht  
The Netherlands

Teléfono : +31-78-630.1011

Telefax : +31-78-630.1181

Teléfono de emergencia : +34-(0)-98-512.4395

### **2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

Nombre químico	No. CAS	No. CE	Clasificación	Concentración [%]
1,1,1-Trifluoroetano (R143a)	420-46-2	206-996-5	F+; R12	52
Pentafluoroetano (R125)	354-33-6	206-557-8		44
1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a)	811-97-2	212-377-0		4

Para el texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16.

### **3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS**

La rápida evaporación del líquido puede producir congelación.  
Los vapores son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado.

### **4. PRIMEROS AUXILIOS**

Consejo general : En caso de inconsciencia, mantener en posición ladeada y pedir consejo médico. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. En caso de respiración irregular o parada respiratoria, administrar respiración artificial. En el caso de molestias prolongadas acudir a un médico.

Inhalación : Salir al aire libre. Mantener al paciente en reposo y abrigado. Puede ser necesaria la respiración artificial y/o el oxígeno.

Contacto con la piel : Lavar con agua caliente. Quítense inmediatamente la ropa contaminada.

Contacto con los ojos : Enjuagar a fondo con abundancia de agua, también debajo de los párpados.



**DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant**

Versión 2.2

Fecha de revisión 12.04.2006

Ref. 130000000494

Consultar un médico.

**Notas para el médico**

Tratamiento : No dar adrenalina o drogas similares.

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

Peligros específicos para la lucha contra el fuego : aumento de presión

Equipo de protección especial para los bomberos : En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Información adicional : Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores. Enfriar recipientes / tanques con pulverización por agua.

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

Precauciones personales : Evacuar el personal a zonas seguras. Ventilar la zona. Consultar las medidas de protección en las listas de las secciones 7 y 8.

Precauciones para la protección del medio ambiente : No debe liberarse en el medio ambiente.

Métodos de limpieza : Se evapora.

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

**Manipulación**

Consejos para una manipulación segura : Disponer de la suficiente renovación del aire y/o de extracción en los lugares de trabajo. Ver sección 8 para el equipo de protección personal.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión : No se requieren medidas de protección especiales contra el fuego.

**Almacenamiento**

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes : Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Almacenar en envase original.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto : Ningún material a mencionar especialmente.

Clase alemán de almacenamiento : 2A : Gas comprimido, licuado o presurizado

**8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL**





## **DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant**

Versión 2.2

Fecha de revisión 12.04.2006

Ref. 130000000494

### **Disposiciones de ingeniería**

Asegurarse de una ventilación adecuada, especialmente en locales cerrados.

### **Protección personal**

- Protección respiratoria : Para rescatar y para trabajo de mantenimiento en tanques, utilice equipo respiratorio autónomo. Los vapores son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado.
- Protección de las manos : guantes resistentes al calor
- Protección de los ojos : gafas de seguridad
- Medidas de higiene : Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

## **9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

- Estado físico : Gas licuado,
- Color : incoloro,
- Olor : similar al éter,
- pH : neutro
- Temperatura de ebullición/rango : -46,7 °C
- Punto de ignición : no se inflama
- Descomposición térmica : 728 °C,
- Presión de vapor : 12 340 hPa a 25 °C
- Presión de vapor : 23 100 hPa a 50 °C
- Densidad : 1,05 g/cm<sup>3</sup> a 25 °C, (como líquido)

## **10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

- Condiciones que deben evitarse : El producto no es inflamable en el aire, en condiciones ambientales adecuadas de temperatura y presión. Cuando se presuriza con aire u oxígeno, la mezcla puede volverse inflamable. Ciertas mezclas de HCFCs o HFCs con cloro pueden llegar a inflamarse o reaccionar bajo ciertas condiciones.
- Productos de descomposición peligrosos : haluros de hidrógeno, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de carbono, hidrocarburos fluorados, haluros de carbonilo

## **11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Toxicidad aguda por inhalación



## DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant

Versión 2.2

Fecha de revisión 12.04.2006

Ref. 130000000494

- 1,1,1-Trifluoroetano (R143a) : CL50/ 4 h/ rata : > 1 855 mg/l
  - Pentafluoroetano (R125) : ALC/ 4 h/ rata : > 3 480 mg/l
  - 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a) : CL50/ 4 h/ rata : > 2 085 mg/l
- Evaluación de carcinogenicidad : No muestra efectos cancerígenos en experimentos con animales.

### Evaluación de carcinogenicidad

- 1,1,1-Trifluoroetano (R143a) : Las pruebas animales no mostraron cualquier efecto carcinógeno.

Evaluación de la toxicidad para la reproducción : No presenta efectos mutagénicos o teratogénicos en los animales experimentados.

### Evaluación de la toxicidad para la reproducción

- 1,1,1-Trifluoroetano (R143a) : No presenta efectos mutagénicos o teratogénicos en los animales experimentados.

Experiencia humana : Las exposiciones excesivas pueden afectar a la salud humana, en la forma siguiente:

Inhalación  
disnea, narcosis, Actividad cardíaca irregular

Información adicional : La rápida evaporación del líquido puede producir congelación.

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### Toxicidad para los peces

- 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a) : CL50 / 96 h/ Oncorhynchus mykiss (Trucha irisada) : 450 mg/l

### Toxicidad acuática

- 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R134a) : / CE50/ 48 h/ Dafnia: 980 mg/l

Potencial de calentamiento global (PCG) : 3 748

## 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Producto : Puede utilizarse después de reacondicionamiento.

Envases contaminados : Los recipientes a presión vacíos deberán ser devueltos al proveedor.

## 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE



**DuPont™ SUVA® 404A Refrigerant**

Versión 2.2

Fecha de revisión 12.04.2006

Ref. 130000000494

**ADR**

Clase: 2  
Código de clasificación: 2A  
No. HI: 20  
No.UN: 3337  
No. Etiquetado: 2.2  
Nombre propio del transporte: Refrigerant gas R 404A

**IATA\_C**

Clase: 2.2  
No.UN: 3337  
No. Etiquetado: 2.2  
Nombre propio del transporte: Gas refrigerante R-404A

**IMDG**

Clase: 2.2  
No.UN: 3337  
No. Etiquetado: 2.2  
Nombre propio del transporte: Refrigerant gas R 404A

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

**Etiquetado de acuerdo con las Directivas CE**

El producto no necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea ó las respectivas leyes nacionales.

**16. OTRA INFORMACIÓN**

**Texto de las frases R mencionadas en la Sección 2**

R12 Extremadamente inflamable.

**Información adicional**

Lea las instrucciones de seguridad DuPont antes de utilizarlo., Para obtener informaciones adicionales, ponerse en contacto con la oficina local DuPont o los distribuidores oficiales de DuPont., ® Marca registrada de DuPont

La información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad, es la más correcta de que disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada, está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, procesado, almacenamiento, transporte, eliminación y descarga, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no puede ser válida para dicho material, usado en combinación con otros materiales o en cualquier proceso, a menos que sea indicado en el texto.